

T e k n i l l i n e n   k o r k e a k o u l u

KORKEIDEN RAKENNUSTEN  
LVI-TEKNISET ONGELMAT

Diplomityö, jonka Teknillisen korkeakoulun koneinsinööriosaston osastokollegi on kokouksessaan toukokuun 6 päivänä 1975 antanut allekirjoittaneelle tehtäväksi professori Vuorelaisen johdolla.

Otaniemessä, joulukuun 1. pnä 1975

*E. Matti Laiho*

Esa-Matti Laiho

Ainonkatu 13 B 10

53100 Lappeenranta 10

TEKNILLINEN KORKEAKOULU  
Koneinsinöörin osasto  
LVI-tekniikka  
Oskari 4  
SF-02150 ESPOO  
puh. 00-451 2685

# SISÄLLYSLUETTELO

sivu

## ALKUSANAT

## KÄYTETYT MERKINNÄT

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | JOHDANTO                                     | 1  |
| 2     | LÄMMÖNTARVELASKENTA                          | 3  |
| 2.1   | Yleistä                                      | 3  |
| 2.2   | Transmissiolämmitystarve                     | 4  |
| 2.21  | Yleistä                                      | 4  |
| 2.22  | Tuulen vaikutus lämmön-<br>läpäisykertoimeen | 7  |
| 2.3   | Ilmanvaihdon lämmitystarve                   | 19 |
| 2.31  | Rakennuksen painesuhteet                     | 20 |
| 2.311 | Tuulen dynaaminen<br>paine                   | 20 |
| 2.312 | Savupiippuvaikutus                           | 23 |
| 2.4   | Huoneen kokonaislämmitystarve                | 29 |
| 2.5   | Yhteenveto                                   | 30 |
| 3     | LÄMMITYS                                     | 34 |
| 3.1   | Yleistä                                      | 34 |
| 3.2   | Lämpökeskukset                               | 39 |
| 3.21  | Kaukolämmön alakeskus                        | 39 |
| 3.211 | Paisuntajärjestelmät                         | 41 |
| 3.22  | Rakennuskohtainen lämpökeskus                | 42 |
| 3.221 | Yläkerroksissa sijait-<br>seva lämpökeskus   | 43 |
| 3.3   | Lämmitysjärjestelmät                         | 45 |
| 3.31  | Kaksiputkijärjestelmä                        | 46 |
| 3.32  | Yksiputkijärjestelmä                         | 53 |



|   |                        | sivu   |
|---|------------------------|--|
|   | 3.4                    | Lämpöjohtoputkisto ja -laitteet 58                     |
|   | 3.41                   | Nousujohtojen lämpöliikkeen<br>tasaus 60               |
|   | 3.5                    | Lämmitysverkoston äänikysymykset 62                    |
|   | 3.6                    | Yhteenveto 63  |
| 4 | VESIJOHDOT JA VIEMÄRIT | 65   |
|   | 4.1                    | Yleistä 65   |
|   | 4.2                    | Vesijohdot 65  |
|   | 4.21                   | Yleistä 65   |
|   | 4.22                   | Mitoitus 65  |
|   | 4.23                   | Vesijohtopaineen korotus 68                            |
|   | 4.24                   | Verkoston vertikaalinen<br>jako 79                     |
|   | 4.25                   | Lämpimän käyttöveden val-<br>mistus ja jakelu 82       |
|   | 4.3                    | Viemärit 83  |
|   | 4.31                   | Likavesiviemärit 83                                    |
|   | 4.311                  | Yleistä 83   |
|   | 4.312                  | Pystyviemärin mi-<br>toittaminen 86                    |
|   | 4.323                  | SOVENT-viemärijär-<br>jestelmä 92                      |
|   | 4.32                   | Sadevesiviemärit 99                                    |
|   | 4.321                  | Sisäpuoliset sade-<br>vesiviemärit 99                  |
|   | 4.3211                 | UV-sadevesi-<br>järjestelmä 101                        |
|   | 4.4                    | Yhteenveto 106   |
| 5 | ILMANVAIHTO            | 108  |
|   | 5.1                    | Yleistä 108  |
|   | 5.2                    | Termisten voimien ja tuulen aiheuttamat<br>häiriöt 108 |

|     |   | sivu |
|-----|---|------|
|     | 5.21 Ilmavirtausten aiheuttamat ongelmat    | 115  |
|     | 5.22 Paine-erojen aiheuttamat ongelmat      | 116  |
| 5.3 | Häiriöiden poistamis- ja vähentämis-keinoja | 118  |
|     | 5.31 Ilmanvaihtoteknilliset seikat          | 118  |
|     | 5.32 Rakennusteknilliset seikat             | 124  |
| 5.4 | Yhteenveto                                  | 126  |
| 6   | LOPPUYHTEENVETO                             | 127  |

LÄHDELUETTELO

KUVALUETTELO

TAULUKKOLUETTELO

LIITELUETTELO

LIITTEET



## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty professori Vuorelaisen johdolla. Hänen antamistaan ohjeista ja neuvoista haluan esittää mitä parhaat kiitokseni.

Diplomityöni aiheuttamista kustannuksista on vastannut Lämpöteknillinen Insinööritoimisto Oy. Haluan esittää vilpittömät kiitokseni toimitusjohtaja Antti Hohdille sekä osastopäällikkö Martti Koivurinnalle saamastani mahdollisuudesta diplomityöni laatimiseen toivoen samalla työn vastaavan siihen mahdollisesti kohdistettuja odotuksia. Samalla haluan kiittää niitä LIT Oy:n henkilökuntaan kuuluvia, jotka ovat arvokkailla neuvoillaan tai muuten tukeneet työtäni.

Esa-Matti Laiho

# KÄYTETYT MERKINNÄT

|                 |   |                    |
|-----------------|---|--------------------|
| A               | pinta-ala                                 | $m^2$              |
| F               | ulkovaipan pinta-ala                      | $m^2$              |
| H               | kokonaiskäyttövoima                       | $N/m^2$            |
| $H_p$           | pumpun paine                              | $N/m^2$            |
| $H_o$           | omavoimainen kierto                       | $N/m^2$            |
| N               | normaaliventtiilien lukumäärä             |                    |
| P               | paine                                     | $N/m^2$            |
| Q               | rakennuksen transmissiolämmitys-<br>tarve | W                  |
| T               | pumpun käyntiaika                         | min/h              |
| V               | tilavuus                                  | $m^3$              |
| $\dot{V}$       | tilavuusvirta                             | $m^3/s, dm^3/s$    |
| Re              | Reynolds'in luku                          |                    |
| $c_p$           | ominaislämpö vakioaineessa                | $kJ/kg^{\circ}C$   |
| $d_p$           | paksuus, halkaisija                       | m                  |
| f               | täyttökerroin                             |                    |
| g               | putouskiihtyvyys                          | $m/s^2$            |
| h               | korkeus                                   | m                  |
| i               | käynnistysten lukumäärä                   | 1/h                |
| k               | lämmönläpäisykerroin                      | $W/m^2^{\circ}C$   |
| m               | lämmönvastus                              | $m^2^{\circ}C/m^2$ |
| $\dot{m}$       | massavirta                                | kg/s, g/s          |
| $\Delta\dot{m}$ | massavirran muutos                        | kg/s               |
| n               | kerrosluku                                |                    |
| p               | paine                                     | $N/m^2$            |
| $\Delta p$      | paine-ero, painehäviö                     | $N/m^2$            |
| q               | vesimäärä                                 | $dm^3/s$           |
| r               | säde                                      | m                  |
| t               | lämpötila                                 | $^{\circ}C$        |
| $\Delta t$      | lämpötilaero                              | $^{\circ}C$        |
| v               | nopeus                                    | m/s                |
| z               | käynnissäoloaika                          | min                |



|           |                             |                                 |
|-----------|-----------------------------|---------------------------------|
| $\phi$    | lämpöhäviö                  | W                               |
| $\alpha$  | lämmönsiirtymiskerroin      | $W/m^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ |
| $\beta$   | valumiskerroin              |                                 |
| $\delta$  | painehäviöiden suhde        |                                 |
| $\lambda$ | lämmönjohtavuus             | $W/m^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ |
| $\rho$    | tiheys                      | $m^3/h$                         |
| $\nu$     | kinemaattinen viskositeetti | $m^2/s$                         |
| $\xi$     | muotovastuskerroin          |                                 |

#### Alaindeksit

|     |                                       |
|-----|---------------------------------------|
| ap  | alapohja                              |
| yp  | yläpohja                              |
| m   | keskimääräinen, meno                  |
| s   | seinä, sisä, savupiippuvaikutus, sade |
| i   | ikkuna, ilmanvaihto                   |
| u   | ulko                                  |
| t   | transmissio, terminen                 |
| r   | raja                                  |
| p   | paluu, pumppu                         |
| v   | vuotoilma, vesi                       |
| dyn | dynaaminen                            |
| k   | kanava                                |

Korkean rakennuksen määrittäminen ei ole helppo tehtävä, sillä "rakennuksen korkeus" tuntuu olevan melko subjektiivinen ja suhteellinen käsite. Joku pitää rakennusta korkeana jos se kohoaa puiden latvojen yläpuolelle. Joku toinen taas näkee rakennuksen korkeaksi vasta jos se kohoaa huomattavasti korkeammalle kuin muut lähellä olevat rakennukset. Suomen olosuhteisiin sopivan ja ehkä objektiivisenkin määritelmän antavat paloviranomaiset, joiden määräyksissä /66/ on yli 28 m korkeat rakennukset luokiteltu A-luokkaan. Tämä määritelmä vastaisi 9...10-kerroksista rakennusta. Tässä työssä käsitetään korkeiksi rakennuksiksi talot, joilla on yli 8...10 maanpäällistä kerrosta.

Rakennuksen korkeuden kasvaessa se on yhä enemmän alistettu sään ja ilmaston vaikutuksille. Kun muistetaan, että lämmitys- ja ilmastointilaitoksen tehtävänä on tehdä ihminen riippumattomaksi ulkoisesta säästä hygieeniset ja taloudelliset seikat huomioonottaen, ja luoda sisäilmasto sellaiseksi, että se vastaa ihmisten viihtyisyysvaatimuksia /97/, huomataan korkeiden rakennusten asettavan LVI-tekniikalle lisävaatimuksia verrattuna matalampiin rakennuksiin.

Rakennuksen korkeuden kasvaessa lisääntyy myös vertikaalisten vesi- ja viemäriverkostojen pituus ja todennäköinen yhtäaikaisten kuormitus, aiheuttaen sekä taloudellisia että toiminnallisia ongelmia.

Tässä työssä on pyritty kartoittamaan korkeissa rakennuksissa esiintyvät LVI-tekniset ongelmat, sekä antamaan LVI-suunnittelijalle joitakin ratkaisumalleja ja suunnitteluohjeita, joita hän voisi soveltaa valitessaan korkean talon LVI-järjestelmiä sekä mitoittaessaan niitä.



Työ on pääasiassa tehty alan kirjallisuuteen ja julkaisuihin perehtymällä. Arvokkaana apuna ovat myös olleet kokeneiden LVI-suunnittelijoiden huomiot ja mielipiteet korkeiden rakennusten LVI-suunnittelusta.

Työssä on noudatettu LVI-alalla tuttua käsittelytapaa. Alussa on käsitelty lämmöntarvelaskentaa ja lämmitystä sitten vesi- ja viemäriasioita ja lopuksi ilmastointia. Kunkin pääotsakkeen lopussa on esitetty yhteenveto käsitellyistä asioista.

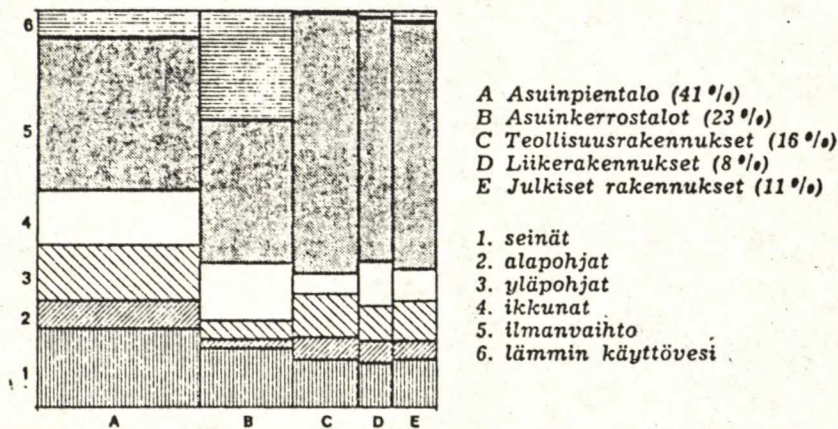
Työssä ei ole pyritty ottamaan kantaa korkeiden rakennusten rakentamisen puolesta eikä vastaan.

2

## LÄMMÖNTARVELASKENTA

## 2.1 Yleistä

Lämmönkulutuksen jakautuma Suomessa eri rakennusosille rakennustyypeittäin on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Lämmönkulutuksen jakautuminen rakennuskannassa 1970/1/

Korkeita rakennuksia voivat olla lähinnä asuinkerrostalot, liikerakennukset ja julkiset rakennukset. Nämä muodostavat yhteensä n. 40 % rakennuskannasta. Tämän tyyppisten rakennusten sisäinen lämmönkulutuksen jakautuma muodostuu seuraavaksi:

|   |                                    |             |
|---|------------------------------------|-------------|
| - | seinien jakautumishäviöt           | 13 %        |
| - | alapohjan "                        | 4 %         |
| - | yläpohjan "                        | 8 %         |
| - | ikkunoiden "                       | 11 %        |
| - | ilmanvaihdon lämmönkulutus         | 54 %        |
| - | lämpimän käyttöveden lämmönkulutus | <u>10 %</u> |
|   |                                    | 100 %       |



Karkeasti arvioiden voidaan sanoa, että lämmöstä poistuu puolet ulkovaipan (ulkoseinät, ikkunat, ovet, ylä- ja alapohja) kautta. Toinen puoli poistuu ilmanvaihdon ja jäteveden mukana.

Rakennuksen korkeuden vaikutus ei suoranaaisesti ilmene kuvasta 1. Suuntaa antavan käsityksen antaa taulukko 1, mistä ilmenee, että asuinkerrostaloista pistetalot kuluttavat lämpöä n. 40 % enemmän kuin kaupungin sisällä olevat korttelitalot.

Taulukko 1 Erityyppisten rakennusten keskimääräinen vuotuinen lämmönkulutus Helsingissä ja Tapiolassa v. 1965./2/

| Rakennuslaji          | Lämmönkulutus        |                       |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|
|                       | MWh/m <sup>3</sup> v | Mcal/m <sup>3</sup> v |
| Asuinrakennukset      |                      |                       |
| Kerrostalot           |                      |                       |
| - korttelitalot       | 64,0                 | 55,0                  |
| - pistetalot          | 91,1                 | 78,3                  |
| Pientalot             | 109,3                | 94,0                  |
| Liikerakennukset      | 74,9                 | 64,4                  |
| Julkiset rakennukset  | 87,5                 | 75,2                  |
| Teollisuusrakennukset | 57,0                 | 49,0                  |

## 2.2 Transmissiolämmitystarve

### 2.21 Yleistä

Rakennuksen transmissiolämmitystarpeella tarkoitetaan rakennuksen ulkovaipan läpi siirtyvää lämpötehoa. Se voidaan laskea kaavasta /3/

$$Q = k_m F \Delta t \quad (1)$$

missä

|            |  |
|------------|--|
| $Q$        | rakennuksen transmissiolämmöntarve, W                          |
| $k_m$      | keskimääräinen lämmönläpäisykerroin, $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ |
| $F$        | rakennuksen ulkovaipan pinta-ala, $m^2$                        |
| $\Delta t$ | sisä- ja ulkoilman lämpötilaero, $^\circ C$                    |

Keskimääräinen lämmönläpäisykerroin  $k_m$  lasketaan kaavasta /3/.

$$k_m = \frac{k_s A_s + k_i A_i + 0,5 k_{ap} A_{ap} + 0,8 k_{yp} A_{yp}}{F}, \quad (2)$$

missä

|          |   |
|----------|---|
| $k_s$    | seinän lämmönläpäisykerroin, $W/m^2 \text{ } ^\circ C$            |
| $k_i$    | ikkunan "   |
| $k_{ap}$ | alapohjan "   |
| $k_{yp}$ | yläpohjan "   |
| $A_s$    | seinien pinta-ala, $m^2$  |
| $A_i$    | ikkunoiden "  |
| $A_{ap}$ | alapohjan "   |
| $A_{yp}$ | yläpohjan "   |
| $F$      | ulkovaipan pinta-ala, $m^2$ ( $F = A_s + A_i + A_{ap} + A_{yp}$ ) |

Kaava 1 saadaan seuraavaan muotoon kun otetaan mukaan rakennuksen lämmitettävä tilavuus  $V$ ,  $m^3$ .

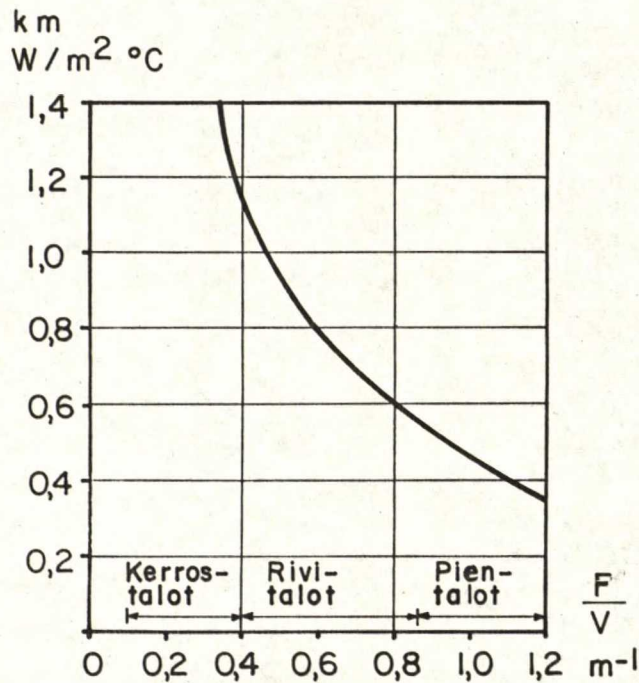
$$\frac{Q}{V \Delta t} = k_m \frac{F}{V} \quad (3)$$



Kaava 3 ilmaisee rakennuksen transmissiolämmitystarpeen tilavuutta ja astetta kohti. Jos asetetaan vaatimukseksi ehto, että erityyppiset rakennukset kuluttavat lämpöenergiaa (transmission osuus) yhtä paljon tilavuusyksikköä ja lämpötilanyksikköä kohden saadaan yhtälö (3) muotoon

$$\frac{Q}{\Delta t} = k_m \frac{F}{V} = \text{vakio}, \quad (4)$$

mikä on muodoltaan hyperbelin yhtälö. Kuvassa 2 on esitetty saksalaisen rakennustavan mukainen ratkaisu yhtälölle (4).



Kuva 2 Keskimääräisen lämmönläpäisykertoimen riippuvuus rakennuksen ulkovaipan ja tilavuuden suhteesta. /3/

Kuvasta 2 voidaan nähdä, että pientalot ja rivitalot tarvitsevat paremman lämmöneristysten kuin kerrostalot. Toisaalta,

jos rakennuskannalle asetetaan lämmöneristysvaatimuksia (esim. Rakennushallitus /4/) voidaan energiaa säästää esim. suuntaamalla asuntotuotanto enemmän kerrostalorakentamiseen kuin pientalorakentamiseen.

## 2.22 Tuulen vaikutus lämmönläpäisykertoimeen

Huoneen transmissiolämmitystarve lasketaan kaavalla /5/.

$$\emptyset_t = \Sigma kA (t_s - t_u), \quad (5)$$

missä

|               |  |
|---------------|--|
| $\emptyset_t$ | huoneen transmissiolämmitystarve, W                |
| k             | seinämän lämmönläpäisykerroin, W/m <sup>2</sup> °C |
| A             | seinämän pinta-ala, m <sup>2</sup>                 |
| $t_s$         | sisälämpötila, °C                                  |
| $t_u$         | ulkolämpötila, °C                                  |

Seinämän lämmönläpäisykerroin k puolestaan lasketaan kaavoilla /5/

$$k = \frac{1}{m} \quad (6)$$

$$m = m_s + m_u + \Sigma \frac{d}{\lambda} \quad (7)$$

$$m_s = \frac{1}{\alpha_s} \quad (8)$$

$$m_u = \frac{1}{\alpha_u} \quad (9)$$

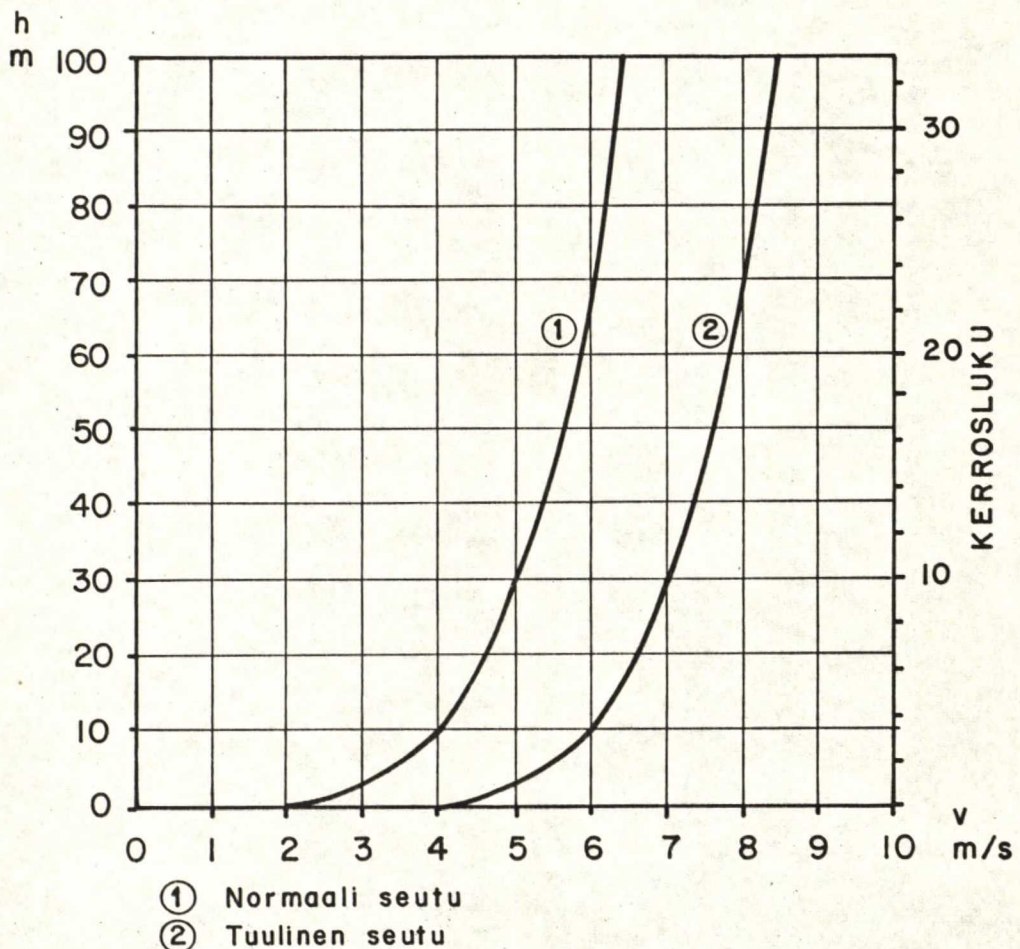
joissa

|       |  |
|-------|--|
| m     | seinämän kokonaislämmönvastus, m <sup>2</sup> °C/W |
| $m_s$ | sisäpinnan lämmönvastus, m <sup>2</sup> °C/W       |



|            |  |
|------------|--|
| $m_u$      | ulkopinnan lämmönvastus, $m^2 \text{ } ^\circ C/W$           |
| $d$        | rakennusainekerroksen paksuus, m                             |
| $\lambda$  | rakennusainekerroksen lämmönjohtavuus, W/m                   |
| $\alpha_s$ | sisäpinnan lämmönsiirtymiskerroin, $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ |
| $\alpha_u$ | ulkopinnan lämmönsiirtymiskerroin, $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ |

Ylläolevista kaavoista havaitaan, että lämmönläpäisykerroin  $k$  on riippuvainen ulkopinnan lämmönsiirtymiskertoimesta, joka riippuu kuitenkin voimakkaasti tuulen nopeudesta. Tuulen nopeus puolestaan kasvaa noustaessa maanpinnalta ylemmäksi. Kuvassa 3 on esitetty tuulen nopeuden riippuvuus korkeudesta. Ulkopuolinen lämmönsiirtymiskerroin on myös riippuvainen pinnan karheudesta.



Kuva 3. Keskimääräinen tuulennopeuden riippuvuus korkeudesta /6/.

Erilaisille pinnoille voidaan käyttää seuraavia kaavoja /6/

$$\text{lasi} \quad \alpha_u = 8 + 2,4 v \quad (10)$$

$$\text{tiili- tai betoniseinä} \quad \alpha_u = 8 + 3,9 v \quad (11)$$

$\alpha_u$       ulkopuolinen lämmönsiirtymiskerroin, kcal/hm<sup>2</sup> °C  
v          tuulen nopeus, m/s

Kuvassa 4 on yhtälöt (10) ja (11) esitetty graafisesti käyttäen SI-yksiköitä.

Lämmöntarpeen laskentaohje /5/ antaa normaalitapauksessa ulkopintojen lämmönvastuiksi seuraavia arvoja:

$$\begin{aligned} - \quad \text{ulkoseinät} \quad m_u &= 0,043 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W} \\ - \quad \text{ulkoikkunat} \quad m_u &= 0,060 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W} \end{aligned}$$

Nämä vastaavat ulkopuolisen lämmönsiirtokertoimen arvoja:

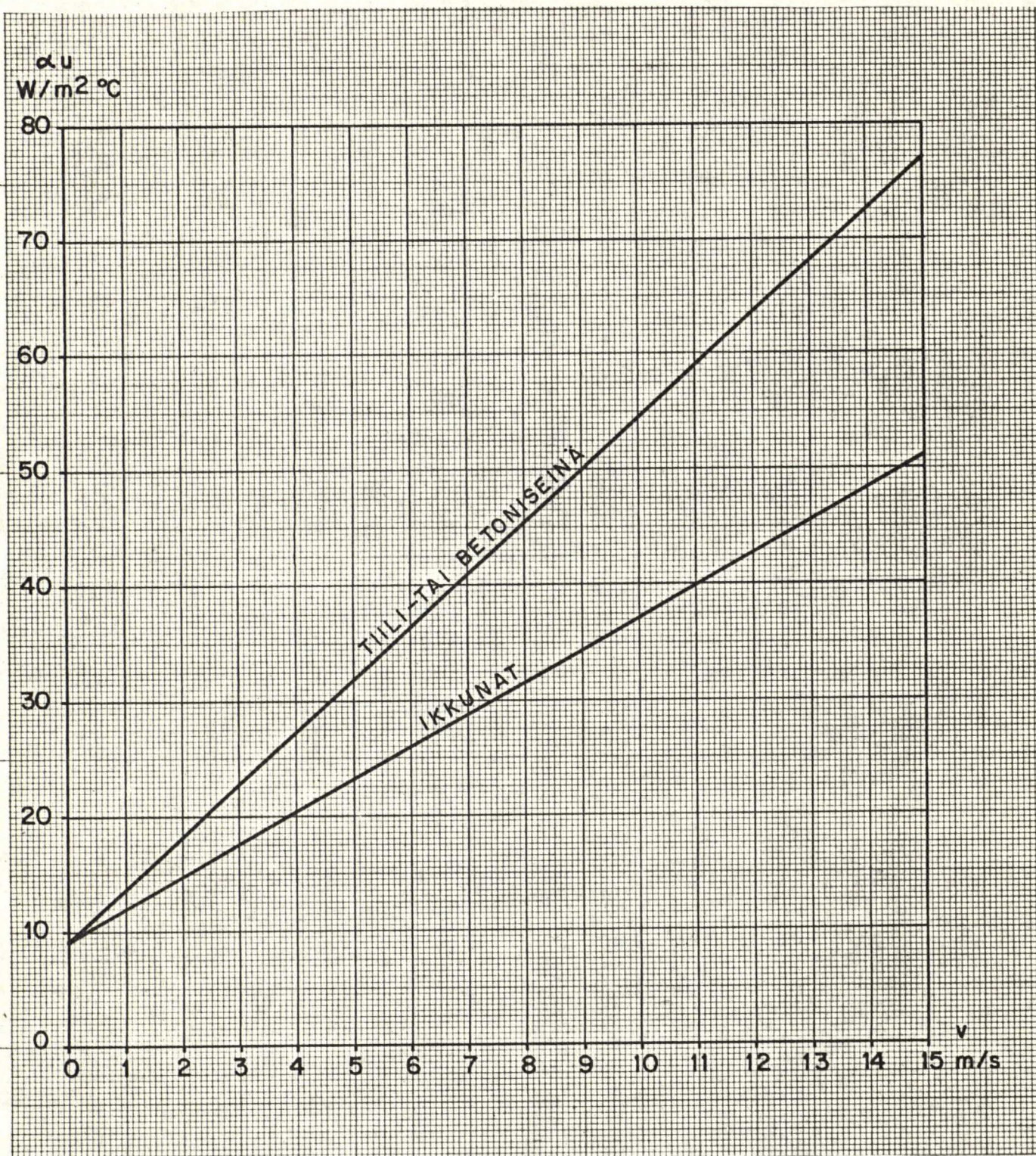
$$\begin{aligned} - \quad \text{ulkoseinät} \quad \alpha_u &= 23,3 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \\ - \quad \text{ulkoikkunat} \quad \alpha_u &= 16,7 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Kuvasta 4 havaitaan, että nämä vastaavat tuulennopeuksia:

$$\begin{aligned} - \quad \text{ulkoseinät} \quad v &= 3,1 \text{ m/s} \\ - \quad \text{ulkoikkunat} \quad v &= 2,6 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Vertaamalla näitä nopeuksia kuvaan 3 havaitaan, että tuulen kannalta normaaliseudulla em. nopeusarvot saavutetaan ja alle kaksikerroksisissa taloissa ja tuulisella seudulla jo heti maanpinnan yläpuolella.





Kuva 4. Ulkopuolisen lämmönsiirtymiskertoimen riippuvuus tuulen nopeudesta.



Transmissiolämmöntarpeen laskentakaavassa (5) ei suoraan esiinny  $\alpha_u$  vaan lämmönläpäisykerroin  $k$ , joka ottamalla huomioon kaavat (6), (7), (8), (9) ja merkitsemällä

$$\sum \frac{d}{\lambda} = \frac{1}{k_o} \quad (12)$$

voidaan saattaa muotoon /7/

$$\frac{k}{k_o} = \frac{1}{1 + k_o (m_s + m_u)} \quad (13)$$

Vertaamalla kahta eri lämmönläpäisykerrointa eli  $k$ -arvoa tapauksissa 1 ja 2, joissa  $m_u$  vaihtelee saadaan

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{1 + k_o (m_s + m_{u1})}{1 + k_o (m_s + m_{u2})} \quad (14)$$

Ottamalla huomioon  $k_o$ :n määrittely (12) sekä kaavat (6) ja (7) saadaan

$$k_o = \frac{k}{1 - k(m_s + m_u)} \quad (15)$$

Soveltamalla Rakennushallituksen ohjeita /4/, joissa annetaan erilaisille ulkopinnoille suurimmat sallitut  $k$ -arvot sekä lämmöntarpeen laskentaohjeita /5/, saadaan erilaisille ulkopinnoille normaalitapaukseksi taulukossa 2 esitetyt arvot.



Taulukko 2. Erilaisten ulkopintojen normaalitapaus.

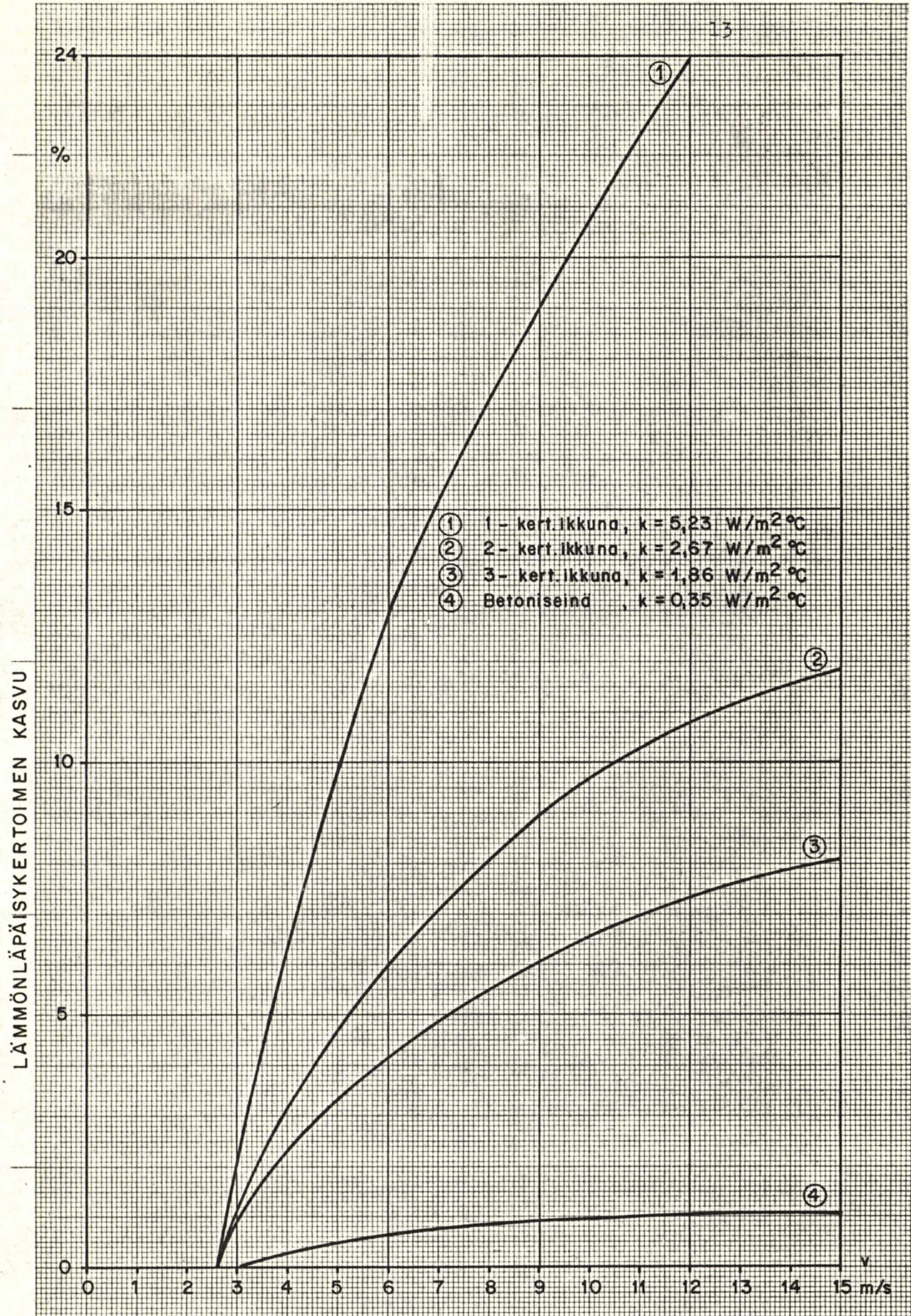
| Pinta              | k                         | ms                        | mu                        | ko                        |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                    | $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ | $m^2 \text{ } ^\circ C/W$ | $m^2 \text{ } ^\circ C/W$ | $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ |
| Kivirak. ulkoseinä | 0,35                      | 0,129                     | 0,043                     | 0,37                      |
| 3-kert. ikkuna     | 1,86                      | 0,112                     | 0,060                     | 2,73                      |
| 2-kert. ikkuna     | 2,67                      | 0,112                     | 0,060                     | 4,93                      |
| 1-kert. ikkuna.    | 5,23                      | 0,112                     | 0,060                     | 52,6                      |

Suorittamalla vertailu (kaava (14)) ylläolevan normaalitapauksen ja kaavojen (10) ja (11) tavalla muuttuvien tapausten välillä, voidaan esittää erilaisten pintojen lämmönläpäisykertoimien riippuvuus tuulen nopeudesta. Tämä on esitetty kuvassa 5.

Kuvasta 5 voidaan havaita, että pienillä lämmönläpäisykertoimien arvoilla tuulen nopeuden vaikutus on suhteellisesti paljon pienempi kuin suurilla k-arvoilla. Esim. ulkoseinien osalta k-arvo kasvaa 1 % kun tuulen nopeus tuulee kolminkertaiseksi normaaliarvosta (n. 3 m/s). Vastaavasti kolminkertaisen ikkunan k-arvo kasvaa 5 %, kaksinkertaisen 8 % ja yksiläisen 17 %.

Kuvista 3 ja 5 voidaan tehdä johtopäätös, että kymmenkerroksisen talon yläkerroksissa transmissiolämmöntarve normaalseudulla on seinien osalta n. 0,5 % suurempi kuin alakerroksissa. Kolminkertaisten ikkunoiden osalta yläkerroksien transmissiolämmitystarve on n. 3 % suurempi. Tuulisella seudulla kasvaisi yläkerroksien transmissiohäviöt seinien osalta n. 0,7 % ja ikkunoiden (3-kert.) 5 %. Taulukossa 3 on esitetty vastaava tarkastelu myös 20- ja 30-kerroksisille rakennuksille.





Kuva 5. Erilaisten ulkopintojen lämmönläpäisy-  
kertoimien riippuvuus tuulen nopeudesta.



Taulukko 3. 10-, 20- ja 30-kerroksisen rakennuksen yläkerroksien transmissiolämmöntarpeen kasvu alakerroksiin nähden normaaliseudulla ja tuulisella seudulla.

| Pinnan-laatu   | Normaali seutu |     |     | Tuulinen seutu |     |     |
|----------------|----------------|-----|-----|----------------|-----|-----|
|                | 10             | 20  | 30  | 10             | 20  | 30  |
|                | ker            | ker | ker | ker            | ker | ker |
|                | %              | %   | %   | %              | %   | %   |
| Ulkoseinä      | 0,5            | 0,6 | 0,7 | 0,7            | 0,8 | 0,9 |
| 3-kert. ikkuna | 3              | 4   | 5   | 5              | 6   | 6   |
| 2-kert. ikkuna | 5              | 6   | 6   | 7              | 8   | 9   |
| 1.kert. ikkuna | 10             | 13  | 14  | 15             | 17  | 18  |

Yhteenvedona taulukosta 3 voidaan sanoa, että ulkoseinien transmissiohäviöt ovat 30 kerroksisen rakennuksen yläosissa vain n. 1 % suurempia kuin alaosissa. Käytettäessä 3-kert. ulkoikkunoita, näiden häviöt ovat yläosissa n. 6 % suuremmat kuin alaosissa.

Transmissiolämmöntarpeeseen vaikuttaa tuulen nopeuden lisäksi myös ulkolämpötila. Helsingissä voidaan mitoitusulkolämpötilaksi ottaa  $t_u = -27^{\circ}\text{C}$ . Verrattaessa kahden tapauksen 1 ja 2 transmissiolämpöhäviöitä saadaan kaavan (5) avulla, sekä valitsemalla sisälämpötilaksi  $t_s = 20^{\circ}\text{C}$

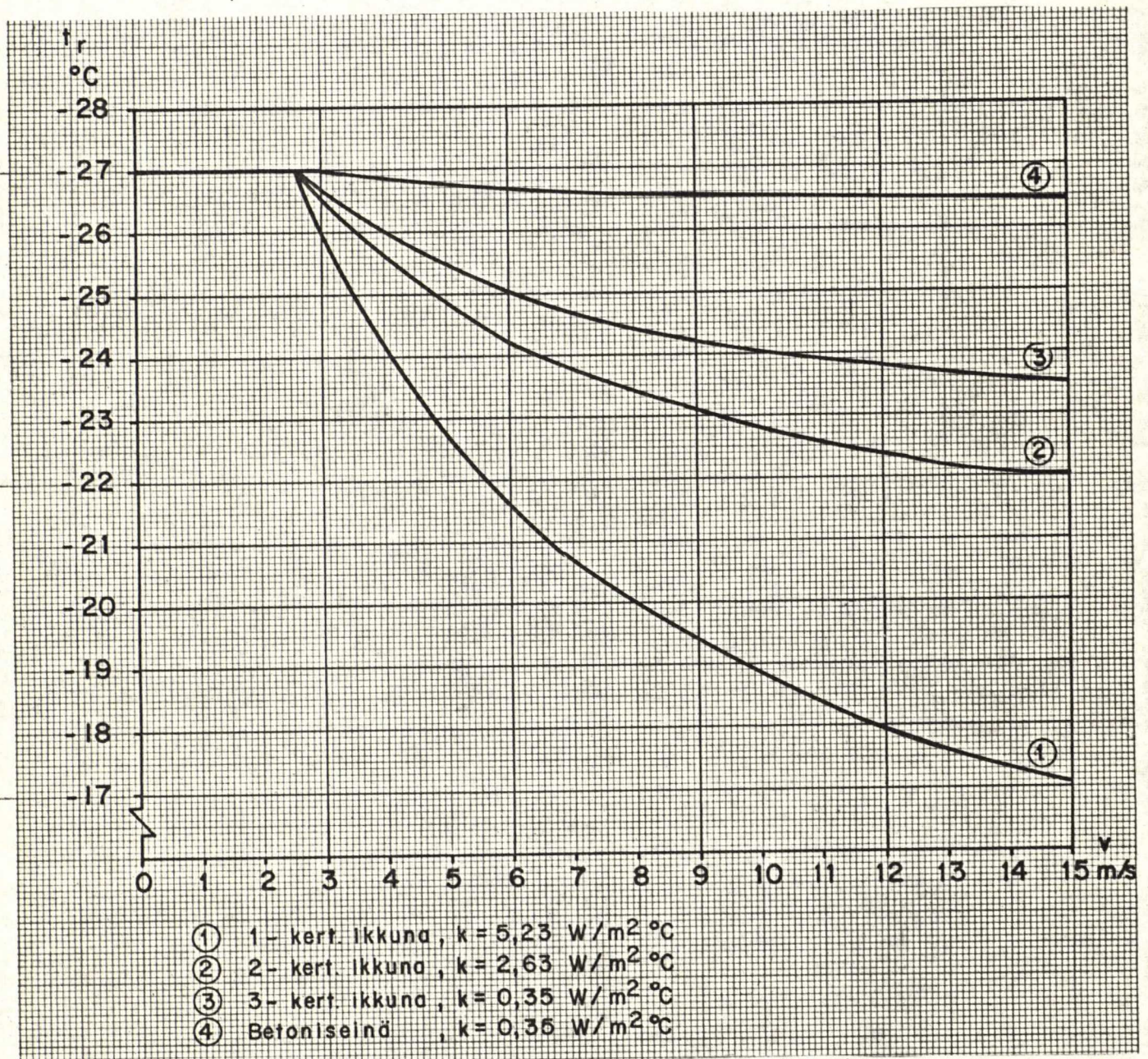
$$\frac{\dot{Q}t_2}{\dot{Q}t_1} = \frac{k_2 (20 - t_r)}{k_1 (20 + 27)} \quad (16)$$

Asettamalla ehto  $\dot{Q}t_2 / \dot{Q}t_1 \geq 1$  eli milloin tapauksen 2 transmissiolämmöntarve on suurempi kuin tapauksen 1, saadaan kaavasta (16) ratkaisu rajalämpötilalle  $t_r$ .



$$t_r \geq 20 - \frac{k_1}{k_2} 47 \quad (17)$$

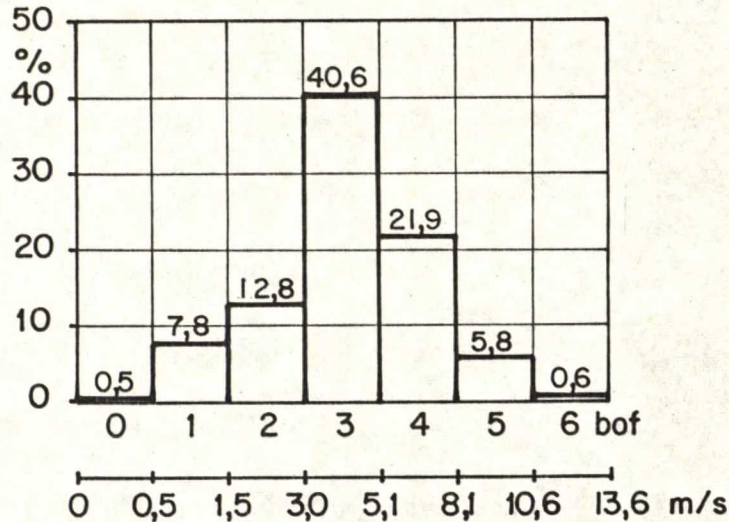
Ottamalla huomioon kaava (14) saadaan rajalämpötila ratkaisuksi. Kuvassa 6 on esitetty kaavan (17) ratkaisu tuulen nopeuden funktiona. Siitä voidaan lukea millä ulkolämpötilan (rajalämpötilan) ja tuulen nopeuden arvoilla ylittää erilaisten ulkopintojen laskentaohjeilla /5/ saatu transmissiolämmöntarve.



Kuva 6. Erilaisten ulkopintojen rajalämpötilojen riippuvuus tuulen nopeudesta Helsingissä, kun sisälämpötila on  $20^\circ\text{C}$ .



Kuvaan 7 ja taulukoihin 4 ja 5 on koottu tietoja /8/ ulko-  
lämpötilan ja tuulennopeuden riippuvuuksista Helsingissä  
pakkaskausina v. 1901 - 1940.



Kuva 7. Tuulen nopeusjakautuma Helsingissä pakkaskaudella  
( $-30^{\circ}\text{C} \dots 0^{\circ}\text{C}$ ) v. 1901 - 1940

Taulukko 5. Tuulen nopeushavaintojen prosentuaalinen  
lukumääräjakautuma eri lämpötila-alueilla  
Helsingissä v. 1901...1940, kun tuulen  
nopeus on ollut suurempi tai yhtäsuuri kuin  
3 bof, 4 bof, 5 bof ja 6 bof.

| Lämpötila-<br>alue, $^{\circ}\text{C}$ | 3 bof | 4 bof | 5 bof | 6 bof |
|--|-------|-------|-------|-------|
| -30...-25,1                            | 0,1   | 0     | 0     | 0     |
| -25...-20,1                            | 0,4   | 0,1   | 0     | 0     |
| -20...-15,1                            | 2,5   | 0,7   | 0,1   | 0     |
| -15...-10,1                            | 8,1   | 3,1   | 0,6   | 0,1   |
| -10...- 5,1                            | 18,4  | 7,4   | 1,6   | 0,1   |
| - 5...- 0                              | 39,5  | 17,0  | 4,0   | 0,4   |
| yht.                                   | 69,0  | 28,3  | 6,3   | 0,6   |

Taulukko 4. Tuulen prosentuaalinen nopeusjakautuma Helsingissä  
v. 1901...1940 eri lämpötila-alueilla.

| Lämpötila-<br>alue, °C | Nopeusalue, m/s |            |           |           |           |           |             |  |  |  |
|------------------------|-----------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|--|--|--|
|                        | 0...0,5         | 0,51...1,5 | 2,0...3,0 | 3,5...5,1 | 5,6...8,1 | 8,6...8,1 | 11,2...13,6 |  |  |  |
| -30...-25,1            | 0               | 40         | 20        | 40        | 0         | 0         | 0           |  |  |  |
| -25...-20,1            | 0               | 23,6       | 36,8      | 31,7      | 7,9       | 0         | 0           |  |  |  |
| -20...-15,1            | 2,0             | 16,4       | 27,7      | 37,9      | 12,8      | 3,2       | 0           |  |  |  |
| -15...-10,1            | 0,7             | 10,9       | 27,7      | 37,2      | 18,7      | 4,4       | 0,4         |  |  |  |
| -10...- 5,1            | 0,1             | 8,2        | 21,2      | 42,3      | 21,9      | 5,7       | 0,6         |  |  |  |
| - 5... 0               | 0,6             | 5,9        | 21,6      | 41,0      | 23,7      | 0,5       | 0,7         |  |  |  |
|                        | 0 bof           | 1 bof      | 2 bof     | 3 bof     | 4 bof     | 5 bof     | 6 bof       |  |  |  |



Kuvasta 7 havaitaan, että suurin osa tuulen nopeuksista pak-  
kaskaudella Helsingissä asettuu välille 3 m/s...5 m/s. Tut-  
kittaessa lähemmin kuinka tuulennopeudet ovat jakaantuneet  
mitoitussulkolämpötilan  $t_u = -27^{\circ}\text{C}$  lähettyvillä havaitaan,  
että lämpötila-alueella  $-30^{\circ}\text{C}$ ... $-25^{\circ}\text{C}$  tehdyistä tuulen no-  
peushavainnoista ainoastaan 0,1 % ylittää 3 m/s, mikä vas-  
tasi laskentaohjeen /5/ antamaa ulkopinnan lämmönvastusta.  
Asettamalla kuvassa 6 rajalämpötilaksi  $-25^{\circ}\text{C}$  havaitaan eri  
ulkopinnoilla seuraavat tuulen nopeudet, joilla laskenta-  
ohjeen /5/ häviöt ylitetään

|   |                |   |   |         |
|---|----------------|---|---|---------|
| - | ulkoseinä      | v | > | 15 m/s  |
| - | 3-kert. ikkuna | v | > | 6 m/s   |
| - | 2-kert. ikkuna | v | > | 5 m/s   |
| - | 1-kert. ikkuna | v | > | 3,5 m/s |

Vertaamalla näitä nopeuksia taulukoihin 4 ja 5 voidaan ve-  
tää johtopäätös, että ulkoseiniä ( $k = 0,35 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ja  
kolminkertaisten ikkunoiden osalta laskentaohjeen /5/ ar-  
voja ei Helsingissä todennäköisesti ylitetä koskaan. Kak-  
sinkertaisia ja jopa yksinkertaisiakin ikkunoita käytettä-  
essä ylitetään laskentaohjeen antama transmissiolämmöntarve  
harvoin.

Edellä oleva esitys tuulen nopeuden riippuvuuksista ulkoläm-  
pötiloista ja tästä vedetyt johtopäätökset koskivat vain  
Helsingin olosuhteita. Verrattaessa Helsingin havaintoja  
muuhun Suomeen /9/ havaitaan, että esim. tuulen nopeudet  
Helsingissä talvikaudella ovat muuta Suomea korkeammat pait-  
si saaristoalueella, jossa taasen mitoitussulkolämpötila on  
korkeampi. Sisä- ja Pohjois-Suomessa tuulennopeudet talvi-  
kaudella ovat huomattavasti pienempiä kuin Helsingissä, mut-  
ta vastaavasti näillä alueilla mitoitussulkolämpötila on  
alempi, joten Helsingin säähavainnoista vedetyt johtopäätök-  
set voitaneen yleistää.

Saksassa ja Japanissa suoritettuja tutkimuksia /10/ ja /11/ sovellettaessa suomalaiseseen laskentaohjeeseen /5/ havaitaan, että meidän käyttämämme  $\alpha_u$ :n arvo vastaisi tuulen nopeutta 4 m/s...5 m/s. Tämä on n. 1 m/s suurempi kuin kaavojen (10) ja (11) avulla saatu. Tämä seikka antaa vielä lisäpontta edellä esitetyille johtopäätelmille, koska mitoitusulkolämpötilan tuntumassa tuulen nopeus on todennäköisesti useammin 3 m/s kuin 4 m/s...5 m/s.

Tutkittaessa pelkästään tuulen nopeuden vaikutusta transmissiohäviöihin havaitaan, että lämmöntarve on suurempi korkeiden rakennusten yläosissa kuin alaosissa. Pienillä lämmönläpäisykertojen arvoilla tällä ei mitoitusarkkuus huomioiden ole merkitystä. Ottamalla huomioon tuulennopeuden lisäksi ulkolämpötila havaitaan, että sellaisia tuuli- ja ulkolämpötilayhdistelmiä, jotka ylittäisivät laskentaohjeen /5/ antaman tuloksen sattuu erittäin harvoin.

### 2.3 Ilmanvaihdon lämmitystarve

Huoneen ilmanvaihtoilman lämmitystarve lasketaan kaavasta /5/.

$$\dot{Q}_v = \sum c_p \dot{m}_v (t_s - t_t) \quad (18)$$

|             |   |
|-------------|---|
| $\dot{Q}_v$ | vuotoilman lämmitystarve, kW                          |
| $c_p$       | ilman ominaislämpö vakioaineessa, kJ/kg <sup>°C</sup> |
| $\dot{m}_v$ | vuotoilman massavirta, kg/s                           |
| $t_s$       | ilman sisälämpötila, °C                               |
| $t_t$       | tulevan ilman lämpötila, °C                           |

Todettakoon, että kaava (18) koskee vain huoneeseen tulevien vuotoilmavirtojen ts. pääasiassa ikkuna- ja ovirakojen kautta tulevan ulkoilman lämmittämiseksi tarvittavaa tehoa. Jos huonetilaan puhalletaan koneellisesti ilmaa lasketaan tämän ilmamäärän lämmitystarve ilmanvaihtokojeistoa mitoitettaessa.



### 2.31 Rakennuksen painesuhteet

Vuotoilman massavirtaa liikuttava voima on huoneiston ja sen ulkopuolen välillä vallitseva paine-ero. Vuotoilmavirta ns. laskentapituuden yksikköä kohden lasketaan kaavasta /5/.

$$\dot{m}'_v = 0,145 \Delta p^{\frac{2}{3}} \quad (19)$$

missä

$\dot{m}'_v$  vuotoilmavirta pituusyksikköä kohti, g/sm  
 $\Delta p$  paine-ero, N/m<sup>2</sup>

Paine-ero muodostuu tuulen dynaamisesta paineesta, ulko- ja sisäilman tiheyserojen aiheuttamasta painepoikkeamasta eli ns. savupiippuvaikutuksesta ja ilmanvaihtolaitteiston aiheuttamasta painepoikkeamasta.

#### 2.311 Tuulen dynaaminen paine

Tuulen dynaaminen paine lasketaan kaavasta

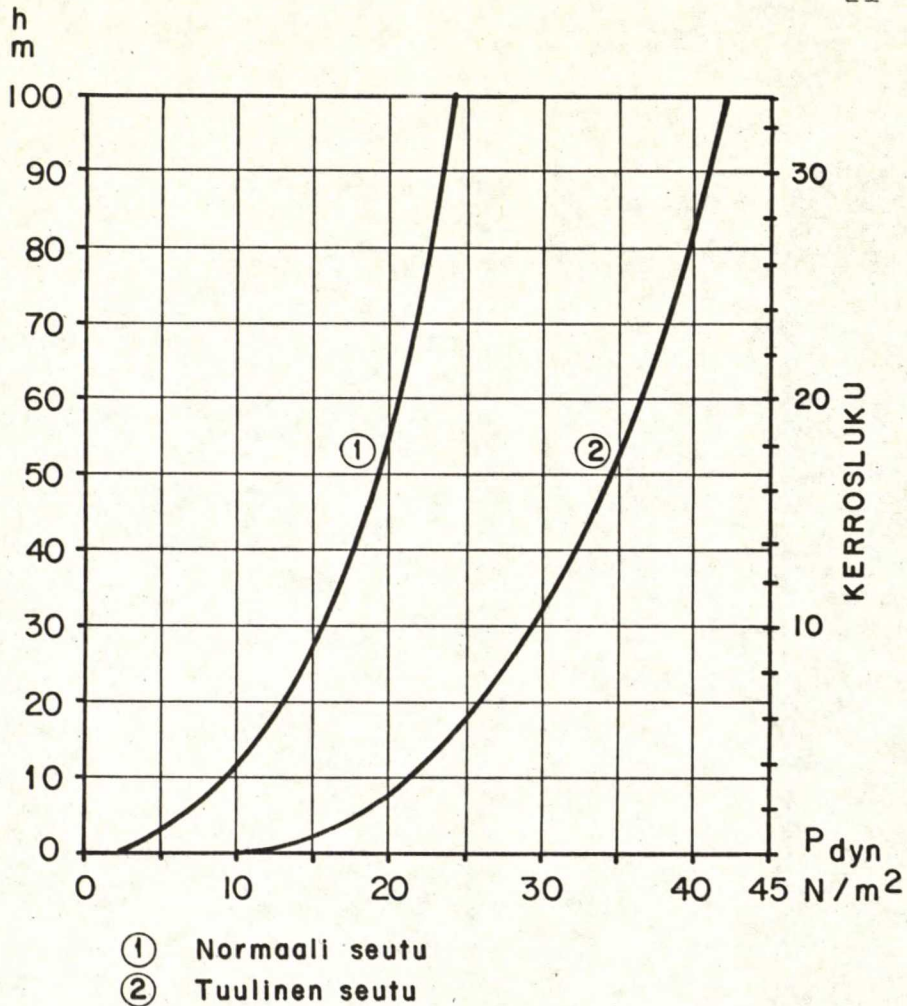
$$p_{dyn} = \frac{1}{2} \rho_u v^2 \quad (20)$$

missä

$p_{dyn}$  tuulen dynaaminen paine, N/m<sup>2</sup>  
 $\rho_u$  ulkoilman tiheys, kg/m<sup>3</sup>  
 $v$  ilman nopeus, m/s

Kuvaan 3 perustuvilla tuulen nopeuden arvoilla voidaan kaavan (20) avulla laskea tuulen dynaaminen paine korkeuden funktiona. Tulos on esitetty kuvassa 8.

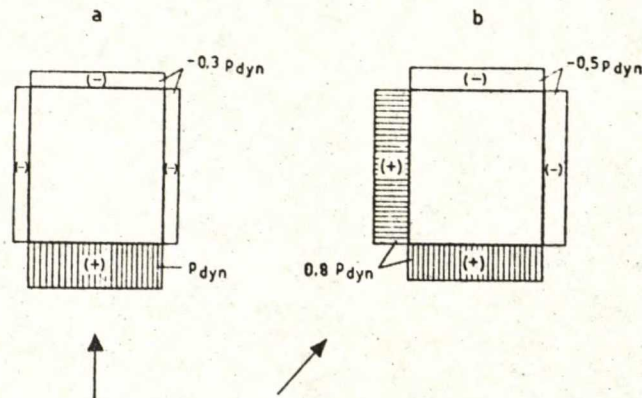




Kuva 8. Tuulen dynaaminen paine korkeudesta riippuvana

1. Normaali seutu
2. Tuulinen seutu

Lämmöntarpeen laskentaohjeet /5/ antaa tuulen dynaamisen paineen arvioimiseksi taulukon 6. Kuvassa 9 on esitetty tuulen aiheuttama painejakautuma huoneeseen tuulen suunnasta riippuen.



Kuva 9. Tuulen aiheuttama painejakautuma /5/.

Taulukko 6.

Huoneen suojaus tuulta vastaan ja laskelmissa käytettävä tuulen dynaaminen paine /5/.

|                   |   | Tuulen dynaaminen paine |       |
|-------------------|---|-------------------------|-------|
|                   |   | N/m <sup>2</sup>        | mm vp |
| Suojattu          | Huoneet tiheään rakennettujen kaupunginosien niissä rakennuksissa tai rakennusten osissa, jotka ovat muiden rakennusten ympäröimiä eivätkä koho ympäristöään korkeammalle   | 10                      | 1     |
| Osittain suojattu | Huoneet harvaan rakennettujen kaupunginosien tai maaseudun niissä rakennuksissa tai rakennusten osissa, jotka ovat muiden rakennusten, puuston tms. ympäröimiä eivätkä koho oleellisesti ympäristöään korkeammalle tai huoneet tiheään rakennettujen kaupunginosien rakennusten niissä osissa, jotka kohoavat ympäristöään korkeammalle | 20                      | 2     |
| Suojaamaton       | Huoneet rakennuksissa tai niiden osissa, joihin tuuli pääsee vapaasti puhaltamaan puuttoman tasaisen maan, meren, järven tms. yli tai jotka sijaitsevat korkealla suojattomalla mäellä tai kohoavat oleellisesti ympäristöään korkeammalle  | 40                      | 4     |

Vertaamalla taulukosta 6 saatavia tuulen paineen arvoja havaitaan seuraavat vastaavuudet paineen ja korkeuden välillä (taulukko 7).

Taulukko 7. Laskentaohjeen /5/ antama tuulen dynaaminen paine ja vastaava kerrosluku (kerroskorkeus 3 m)

|                   | Normaali seutu   |            | Tuulinen seutu   |            |
|-------------------|------------------|------------|------------------|------------|
|                   | p <sub>dyn</sub> | kerrosluku | p <sub>dyn</sub> | kerrosluku |
| Suojattu          | 10               | 4          | 10               | 1          |
| Osittain suojattu | 20               | 7          | 20               | 3          |
| Suojaamaton       | 40               | >50        | 40               | 37         |



Taulukosta 7 nähdään, että laskentaohjeen antamat osittain suojatun huoneen korkeimmaksi kerrosluvuksi 7 normaaliseudulla ja 3 tuulisella seudulla. Suojaamaton huone voi tuulisellakin seudulla sijaita jopa 37:ssä kerroksessa.

### 2.312 Savupiippuvaikutus

Ulko- ja sisäilman tiheyseroista johtuvaa painepoikkeamaa nimitetään savupiippuvaikutukseksi, se voidaan laskea kaavasta /5/.

$$\Delta p_s = hg(\rho_u - \rho_s) \quad (21)$$

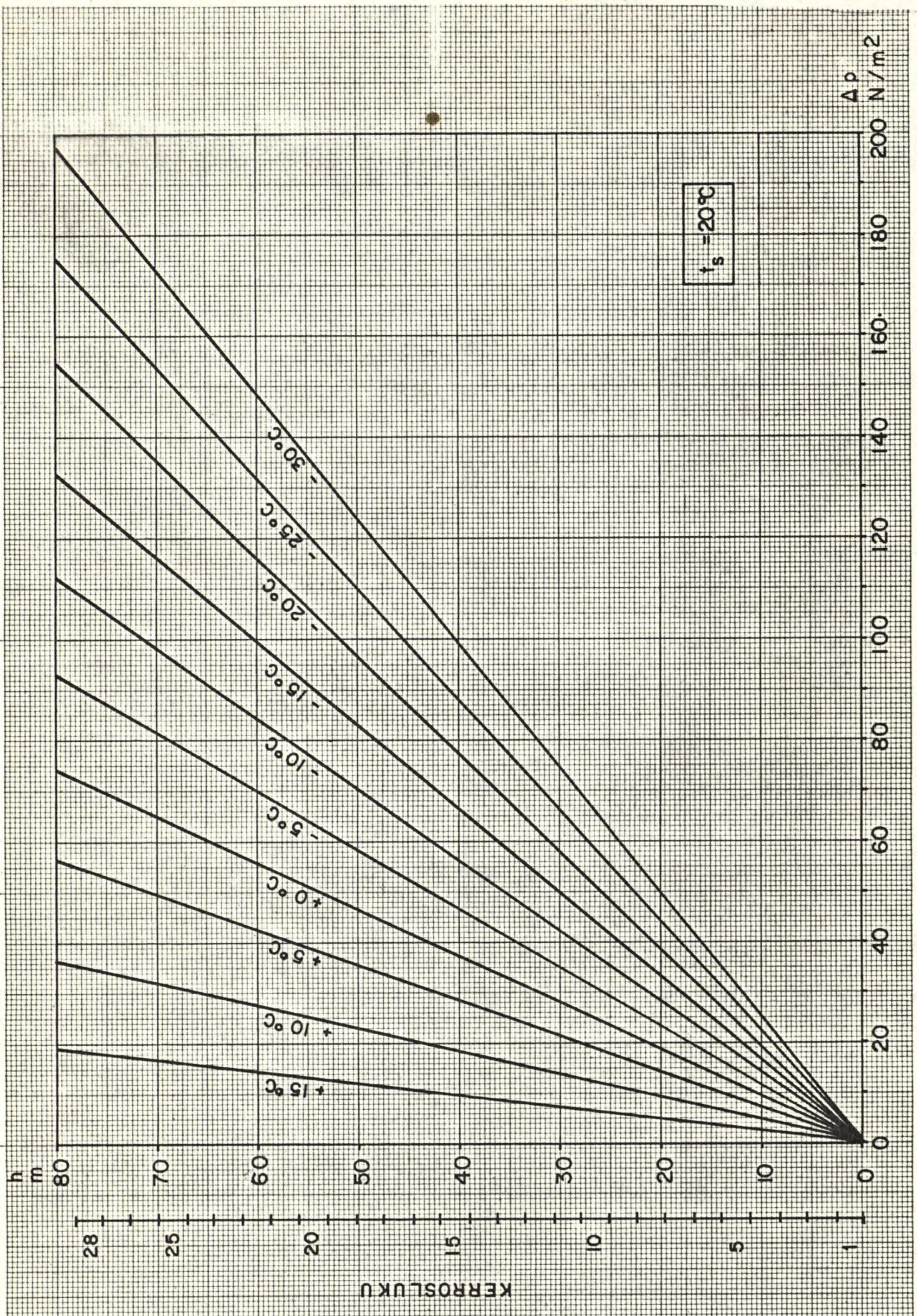
missä

|              |   |
|--------------|---|
| $\Delta p_s$ | savupiippuvaikutuksen aiheuttama paine-ero, $N/m^2$ |
| $h$          | korkeus, m (katso kuva 11)                          |
| $g$          | putouskiihtyvyys, $m/s^2$ ( $g = 9,81 m/s^2$ )      |
| $\rho_u$     | ulkoilman tiheys, $kg/m^3$                          |
| $\rho_s$     | sisäilman tiheys, $kg/m^3$                          |

Ilman tiheydet lämpötilan funktiona saadaan esim. laskentaohjeessa /5/ olevasta monogrammista. Kuvaan 10 on piirretty kaava (21) sisälämpötilan ollessa  $20^\circ C$  ja ulkolämpötilan ollessa parametrinä.

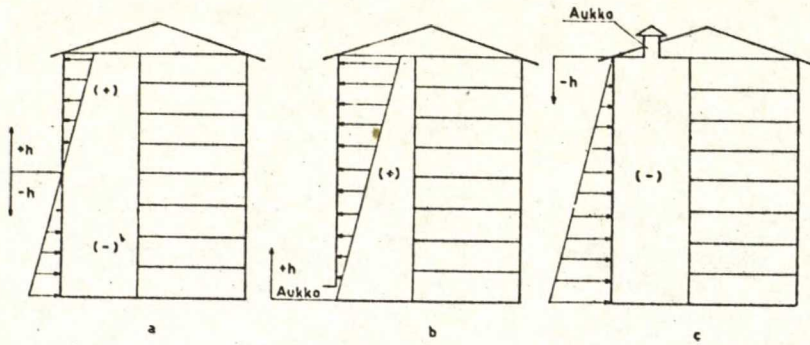
Savupiippuvaikutus toimii jos huoneisto rajoittuu korkeaan tornimaiseen tilaan kuten esim. porrashuoneeseen. Rakennusten painejakautumat muodostuvat erilaiseksi riippuen siitä mitkä ovat rakennuksen aukkosuhteet. Laskentaohjeet /5/ käyttää kuvassa 11 esitettyä painejakautumaa.





Kuva 10. Savupiippuvaikutus eri ulkolämpötiloilla, kun  $t_s$  on  $20^\circ\text{C}$





Kuva 11. Savupiippuvaikutuksen aiheuttama painejakautuma /5/.

Kohtaa missä savupiippuvaikutus = 0 kutsutaan neutraalitasoksi, sen sijainti riippuu rakennuksen aukkosuhteista. Jos tornitilan aukot ja raot jakautuvat tasaisesti koko tilan korkeudelle saadaan tapauksen (a) painejakautuma, joka on tyypillinen vanhemmissa asuintaloissa. Tapaus (b) tulee kysymykseen, jos vuodot keskittyvät tornitilan alaosaan. Tämä tapaus on LIVI:n asuntoilmanvaihtonormien /12/ mukainen. Tapaus (c) tulee kysymykseen, jos tornitilan yläosassa on suuri poistoaukko tai esim. poistopuhallin. Todellisuudessa painejakautuma on jossain näiden tapausten välillä. Käytännössä tavallisempia neutraalitason paikkoja on 0,4...0,8 rakennuksen suhteellista korkeutta /13/ eli lähellä tapausta (a). Tämä johtuu asuintalojen osalta osaksi siitä, että esim. Helsingin kaupungin rakennusviranomaiset vaativat poistoaukon porrashuoneeseen /14/ vastoin LIVI:n normia /12/.

Savupiippuvaikutuksesta syntyvät paine-erot muodostuvat huomattaviksi seuduilla, missä ulko- ja sisälämpötilan erot ovat suuret. Suomessa talvisaikaan savupiippuvaikutuksella on huomattava vaikutus rakennuksen painesuhteisiin. Lämpötilan pysyvyyskäyristä /6/ havaitaan, että esim. Helsingissä lämpötila on nollan alapuolella n. 3,5 kuukautta vuodesta.



Sodankylässä lämpötila pysyy nollan alapuolella puoli vuotta.

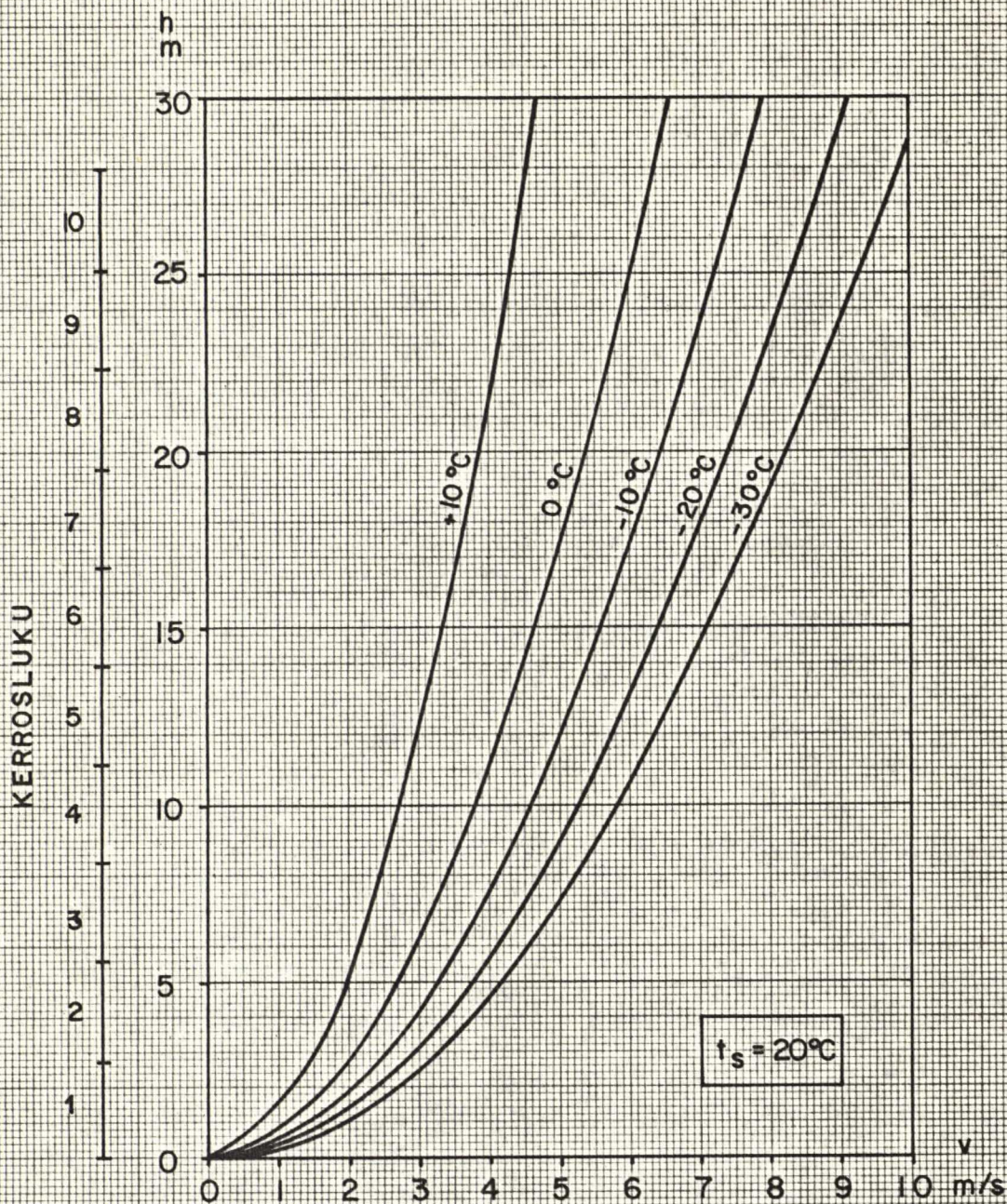
Huoneiston painesuhteisiin vaikutti savupiippuvaikutuksen lisäksi myös tuulen dynaaminen paine. Asettamalla yhtälöt (20) ja (21) yhtäsuuriksi voidaan ratkaista korkeus, missä savupiippuvaikutus ja tuulen dynaamisen paineen aiheuttama paine-ero ovat yhtäsuuret.

$$h = \frac{v^2}{2g(1 - \frac{\rho_s}{\rho_u})} \quad (22)$$

|          |                                     |
|----------|-------------------------------------|
| $h$      | tasapainokorkeus, m                 |
| $v$      | tuulen nopeus, m/s                  |
| $g$      | putouskiihtyvyys, m/s <sup>2</sup>  |
| $\rho_s$ | sisäilman tiheys, kg/m <sup>3</sup> |
| $\rho_u$ | ulkoilman tiheys, kg/m <sup>3</sup> |

Kuvassa 12 on tasapainokorkeus esitetty tuulen nopeuden funktiona kun sisälämpötila on 20°C. Parametrinä on ulkolämpötila. Taulukkoon 8 on koottu tasapainokorkeus eri ulkolämpötiloilla. Siinä on myös esitetty kuvan 11 tapausten (a) ja (b) painejakautumien määräämä kerrosluku, missä tuulen dynaamisen paineen aiheuttama paine-ero ja savupiippuvaikutus ovat yhtäsuuret. Taulukossa 8 esitetyt ulkolämpötilat edustavat Helsingin mitoitusulkolämpötilaa (-27°C), pakkaskauden keskilämpötilaa (-4°C) ja vuoden keskilämpötilaa (5°C). Taulukosta 8 havaitaan, että savupiippuvaikutus on mitoitusulkolämpötilassa jo kaksi-kerroksisissa rakennuksissa suurempi kuin tuulen paineen aiheuttama paine-ero. Pakkaskauden keskilämpötilassa viisikerroksisessakin rakennuksessa savupiippuvaikutus ylittää tuulen aiheuttaman paine-eron (painejakautuma (b)).





Kuva 12. Tasapainokorkeus tuulen nopeuden funktiona, kun sisälämpötila on  $20^{\circ}\text{C}$ .



Taulukko 8. Todennäköiseen tuulennopeuteen perustuva tasapainokorkeus ja vastaava kerrosluku (kerroskorkeus 2,8 m).

| Lämpötila | Tod. näköinen<br>tuulen nopeus | Tasapaino-<br>korkeus | Kerrosluku |     |
|-----------|--------------------------------|-----------------------|------------|-----|
|           |                                |                       | (a)        | (b) |
| °C        | m/s                            | m                     |            |     |
| -27       | 2                              | 1,5                   | 1          | 1   |
| - 4       | 4                              | 10                    | 8          | 4   |
| + 5       | 5                              | 24                    | 18         | 9   |

Taulukko 9. Laskentaohjeen /5/ antamaan tuulen dynaamiseen paineeseen perustuva tasapainokerrosluku lämpötilassa -27°C (kerroskorkeus 2,8 m).

| Tuulen dynaaminen<br>paine | Kerrosluku |     |
|----------------------------|------------|-----|
|                            | (a)        | (b) |
| N/m <sup>2</sup>           |            |     |
| 10                         | 4          | 2   |
| 20                         | 8          | 4   |
| 40                         | 12         | 6   |



Taulukossa 9 on vastaavasti esitetty tasapainokerrosluku kun tuulen dynaamisena paineena on käytetty laskentaohjeen /5/ arvoja.

Seuraava esimerkki antaa vielä konkreettisemmän kuvan savupiippuvaikutuksen suuruudesta. Oletetaan, että rakennuksessa on kuvan 11 tapauksen (b) mukainen painejakautuma. Nyt kysytään kuinka korkea rakennus saa olla, että henkilö pystyy mitoituspakkasella ( $-27^{\circ}\text{C}$ ) poistumaan huoneistostaan porrashuoneen kautta so. saa ulko-ovensa auki. Lähde /15/ antaa oven yli vallitsevaksi maksimi paine-eroksi  $150 \text{ N/m}^2$ , jotta normaali ihminen saisi oven vaivatta auki. Kuvasta 10 selviää, että 25:n kerroksen asukkaalla olisi jo vaikeuksia poistua huoneistostaan.

#### 2.4 Huoneen kokonaislämmöntarve

Huoneen kokonaislämmöntarve saadaan luonnollisesti laskemalla transmissiolämmitystarve ja ilmanvaihdon lämmitystarve yhteen. Todettakoon, että ilmanvaihdon lämmitystarve saat-  
taa olla n. puolet kokonaislämmöntarpeesta.

Ulkomailla on suoritettu tutkimuksia ja mittauksia, jotka yrittävät selvittää kuinka korkeiden rakennusten lämmöntarve muuttuisi korkeuden mukana. Lähteessä /16/ on kahtena lämmityskautena Saksassa mitattu kolmen 15 kerroksisen asuinrakennuksen päällekkäisten huoneistojen lämmitystarve. Tulokseksi saatiin lämmitystarpeen kasvavan yläkerroksia kohti. Lähde /16/ suosittaa 25 % ylimitoitusta 15. kerroksessa. Lähde /17/ osoittaa kuitenkin, että tutkimuksessa käytetty mittaustapa oli väärä ja, että asia on juuri päinvastoin: lämmöntarve vähenee ylöspäin mentäessä. (Ylimmässä kerroksessa on luonnollisestikin katon vuoksi suurempi lämmöntarve kuin välikerroksissa.) Tämän aiheuttaisi savupiippuvaikutus



ja seikka, että tuulen nopeus ei kasvaisikaan korkeuden mukana. Kolmannessa saksalaisessa tutkimuksessa /18/ ei havaittu lämmöntarpeen suoranaista kasvua korkeuden mukana ja se pitää saksalaista mitoitusohjetta DIN 4701 ja DIN 4108 riittävinä. Suomessa ei ole varsinaisesti mitattu, miten lämmöntarve muuttuu rakennuksen korkeuden funktiona, mutta täällä on kehitetty tietokoneohjelma /19/, jonka avulla voidaan tutkia erikorkuisten rakennusten transmissiolämmöntarvetta ja ilmanvaihdon lämmöntarvetta. Liitteessä 1 on esitetty lähteestä /19/ otettu esimerkki yhdeksänkerroksisen asuinrakennuksen lämmöntarpeesta tuulisessa ja tyynessä säässä. Esimerkistä selviää, että tuuli vaikuttaa voimakkaasti yksityisen huoneen lämmöntarpeeseen, mutta koko rakennuksen lämmöntarpeeseen tuulella ei ole suurtakaan merkitystä. Savupiippuvaikutuksella on huomattava vaikutus, jos rakennuksessa on koko korkeuden lävistävä yhteinen tila esim. porrashuone, joka on suoraan yhteydessä asuntoihin. Mainittakoon vielä eräs mielenkiintoinen saksalainen mitaustuloksiin perustuva tutkimus /20/. Siinä mitattiin mm. 18 kerroksisen rakennuksen ulkoseinillä tuulen nopeuksia ja näistä saatavia ulkoseinillä vallitsevia paineita. Mittaukset osoittivat, että patopaine ulkoseinällä ei ollut läheskään niin suuri kuin teoria ja tuulitunnelikokeet olisivat antaneet olettaa. Tuulen nopeus ei myöskään ollut läheskään niin riippuvainen korkeudesta kuin esim. kuvassa 3.

## 2.5 Yhteenveto

Edellä esitetyn perusteella voidaan sanoa, että käytettäessä lämmitystarpeen laskentaohjetta RIL 62 /5/, pienen k-arvon omaavilla ulkoseinärakenteilla ei ylitetä transmission osalta laskentaohjeen oletuksia ja lähtöarvoja korkeissakaan rakennuksissa. Käytettäessä esim. Rakennushallituksen ohjeita /4/ ulkopinnoilla ei vielä 20...30 kerroksisissakaan rakennuksissa



ylitetä 7 % transmissiolämmöntarpeen nousua yläkerroksissa. Yksinkertaisia ikkunoita käytettäessä kasvaisi transmissiolämmöntarve jo n. 18 % ikkunoiden osalta.

Ilmanvaihdon lämmitystarvetta määrättäessä syntyy korkeissa rakennuksissa ongelmia. Ongelma on nimenomaan rakennuksen painesuhteiden arvioiminen, sillä käytettäessä järjestelmää, missä raitisilma otetaan ikkuna- ja ovirakojen kautta, nämä painesuhteet määräävät vuotoilmavirran liikkeellepanevan voiman. Painesuhteisiin vaikuttaa eniten ulkopuoliset voimat: tuulen dynaaminen paine ja savupiippuvaikutus. Tuulen dynaamisen paineen määrääminen on vaikeaa, koska paine-eron aiheuttava tuulen nopeus vaihtelee rakennuksen eri sivuilla ympäristöstä ja itse rakennuksesta riippuen. Lisäksi tuulen nopeus ja suunta ovat ajan funktioita jopa minuutin aikavälillä. Laskentaohjeissa /5/ esitetty tuulen dynaamisen paineen arvioimistaulukko on riittävä ja todennäköisesti varmallalla puolella arvioitaessa korkeidenkin rakennusten ulkopinnoille syntyviä tuulen aiheuttamia paine-eroja mitoitus-ulkolämpötilan tuntumassa.

Toinen rakennuksen painesuhteisiin vaikuttava voima on ns. terminen voima eli savupiippuvaikutus. Sen vaikutus Suomen ilmastossa on talvella suuri jos rakennuksessa on koko korkeuden lävistävä yhtenäinen tila esim. porrashuone tai hissihuilu. Savupiippuvaikutus aiheuttaa talvella suuremman ulkoa tulevan vuotoilmamäärän rakennuksien alakerrokseen kuin yläkerrokseen edellyttäen, että tornimaisen tilan yläosassa ei ole suurta poistoaukkoa tai poistopuhallinta ja että huoneistot yhtyvät ilman käytäviä tai auloja tornimaiseen tilaan. Tästä ilmiöstä johtuu, että rakennuksen alakerrokseen on esim. asennettava suuremmat radiaattorit kuin ylempiin (ylimpään kerrokseen tulee luonnollisesti suurin radiaattori kattopinnan häviöiden vuoksi).



Laskentaohjeen /5/ antamat savupiippuvaikutuksen painejakautumat ovat suuntaa antavia ja riittäviäkin jos ei ole käytettävissä tarkempia arviointi tai simulointikeinoja. Tarkka rakennusten painesuhteiden määrittäminen on erittäin vaikeaa ja työlästä. Tästä syystä on kehitetty tietokoneohjelmia /19/, /21/ rakennusten painesuhteiden arvioimiseksi.

Korkeiden rakennusten lämmöntarvelaskennassa olisivat /19/ ja /21/ kaltaiset ohjelmat erittäin käyttökelpoisia ja joissain tapauksissa ehkä välttämättömiäkin. Mainittakoon vielä eräs hollantilaiseen tutkimukseen /22/ perustuva huomio: Savupiippuvaikutuksen ja tuulen vaikuttaessa yhdessä, rakennuksen koko vuotoilmamäärä oli suunnilleen yhtäsuuri minkä olisi suurempi edellisistä aiheuttanut yksinään.

Edellä todettiin korkeissa rakennuksissa suurimpina vaikeuksina olevan tuulen ja savupiippuvaikutuksen aikaansaamat häiriöt. Nämä häiriöt ovat vaikeasti kokonaan poistettavissa, mutta niitä voidaan huomattavasti vähentää erilaisilla itse rakennussuunnittelussa huomioonotettavilla toimenpiteillä. Seuraavassa on luettelonomaisesti esitetty toimenpiteitä, jotka vähentävät edellämainittuja häiriöitä.

- korkea rakennus olisi sijoitettava seudulle, missä tuulen voimakkuudet ovat mahdollisimman pieniä
- korkeissa rakennuksissa ei saisi olla tiloja, jotka samassa kerroksessa ulottuvat koko rakennusrungon läpi
- käytettävät ulkoseinärakenteet tulisivat olla mahdollisimman tiiviitä esim. ikkunoiden tiivistys tulisi olla erikoisen hyvä
- koko rakennuksen pystysuunnassa läpimenevät tornimaiset tilat olisi - jos mahdollista - katkaistava



fyysisesti erillisiksi osiksi. Esimerkiksi eri hissikuilut palvelevat eri korkeusvyöhykkeitä. Jos korkean tornimaisen tilan fyysinen katkaiseminen ei ole mahdollista olisi savupiippuvaikutuksen aikaansaamat ilmavirtaukset tornitilan ja kerrostilan välillä mahdollisimman hyvin estettävä. Asuin-kerrostaloissa porrashuoneen ja huoneistojen väliin olisi tehtävä erillinen käytävä tai aula, joka tiiviitten oviensa välityksellä muodostaisi lisävastuksen ilmavirralle. Tämä toimenpide olisi välttämätön jo yli 10 kerroksisissa taloissa. Matalammissakin kerrostaloissa olisi kiinnitettävä huomiota huoneistoista porrashuoneeseen johtavan oven tiiveyteen, esim. käytettävä kaksinkertaisia erillisiä ovia ja mahdollisesti poistettava postiluukku

- korkeiden rakennusten sisääntulotilat olisi erotettava auloilla, tuulikaapeilla tai pyöröovilla korkeista tornimaisista tiloista.



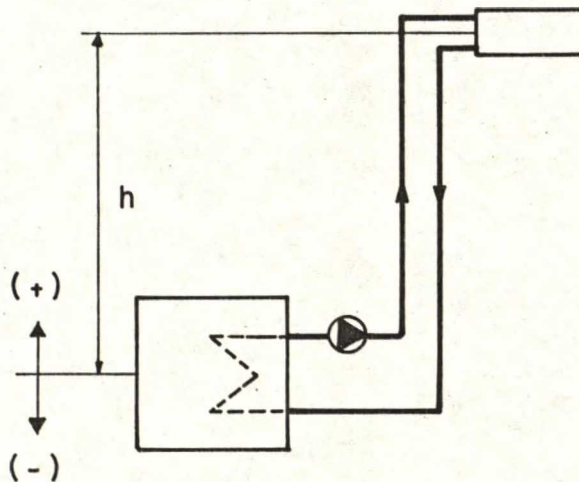
3

## LÄMMITYS

## 3.1 Yleistä

Suomessa yleisin keskuslämmitysjärjestelmä on lämminvesilämmitys ( $t < 100^{\circ}\text{C}$ ). Nykyisin rakennettavat laitokset ovat melkein yksinomaan pumppukiertoisia eli vedenkierto aikaan-  
saadaan kiertopumpun avulla. Aikaisemmin rakennettiin myös järjestelmiä, missä kiertovoimana toimi yksinomaan veden tiheyseroista johtuva käyttövoima.

Pumppukiertoisen laitoksen periaatekaavio on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Pumppukiertoisen laitoksen periaatekaavio



Kuvan 13 mukaisen laitoksen kokonaiskäyttövoima voidaan esittää kaavojen (23) ja (24) avulla /36/.

$$H = H_p + H_o \quad (23)$$

$$H_o = hg(\rho_p - \rho_m) \quad (24)$$

joissa

|          |                                   |
|----------|-----------------------------------|
| H        | kokonaiskäyttövoima, $N/m^2$      |
| $H_o$    | omavoimainen kiertovoima, $N/m^2$ |
| $H_p$    | pumpun paine, $N/m^2$             |
| h        | korkeusero, m                     |
| g        | putouskiihtyvyys, $m/s^2$         |
| $\rho_p$ | paluuveden tiheys, $kg/m^3$       |
| $\rho_m$ | menoveden tiheys, $kg/m^3$        |

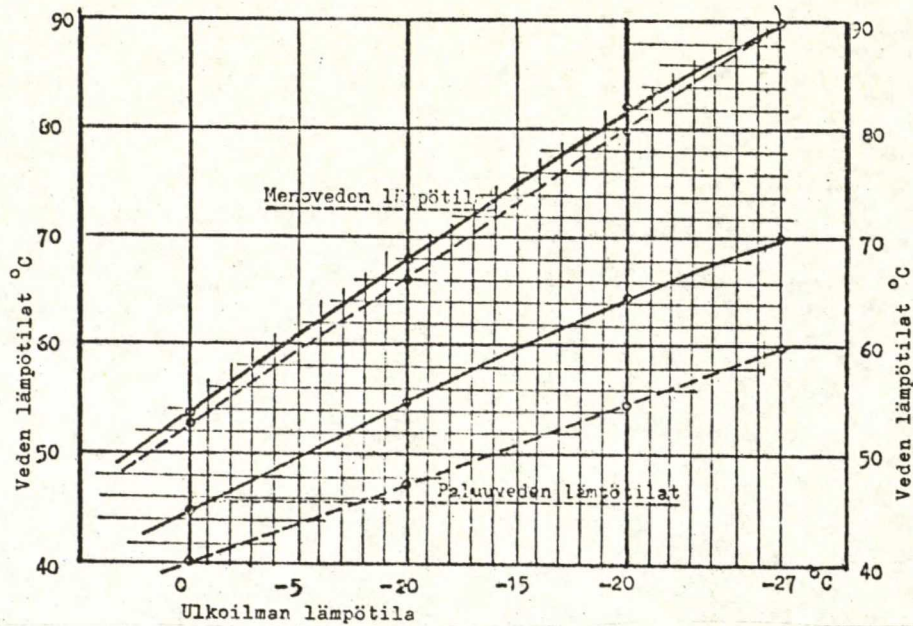
Kuvassa 13 on myös esitetty korkeuseron h etumerkin määrittäminen.

Omavoimaisen kierron aikaansaavat veden tiheyserot ovat riippuvaisia laitoksen tulo- ja menoveden lämpötiloista. Meillä Suomessa yleisimmin käytetyt tulo- ja menoveden lämpötilat ovat:

- $t_m = 90^\circ C$  ja  $t_p = 60^\circ C$  ( $90^\circ C/60^\circ C$ )
- $t_m = 90^\circ C$  ja  $t_p = 70^\circ C$  ( $90^\circ C/70^\circ C$ )

Järjestelmä  $90^\circ C/60^\circ C$  on Lämpölaitosyhdistys ry:n suosittelema /23/. Laitosta ei kuitenkaan ajeta koko lämmityskautta samoilla meno- ja paluuveden arvoilla vaan lämpötilat tavallisesti säädetään ulkolämpötilan mukaan. Kuvassa 14 on esitetty tyypilliset Suomessa käytetyt meno- ja paluuveden lämpötilat ulkolämpötilasta riippuvana.





Kuva 14. Pumppukiertoisen lämmityslaitoksen meno- ja paluuveden lämpötilat ulkolämpötilasta riippuvana kun sisälämpötila on  $20^{\circ}\text{C}$ . /24/

Ehjät viivat  $90^{\circ}\text{C}/70^{\circ}\text{C}$

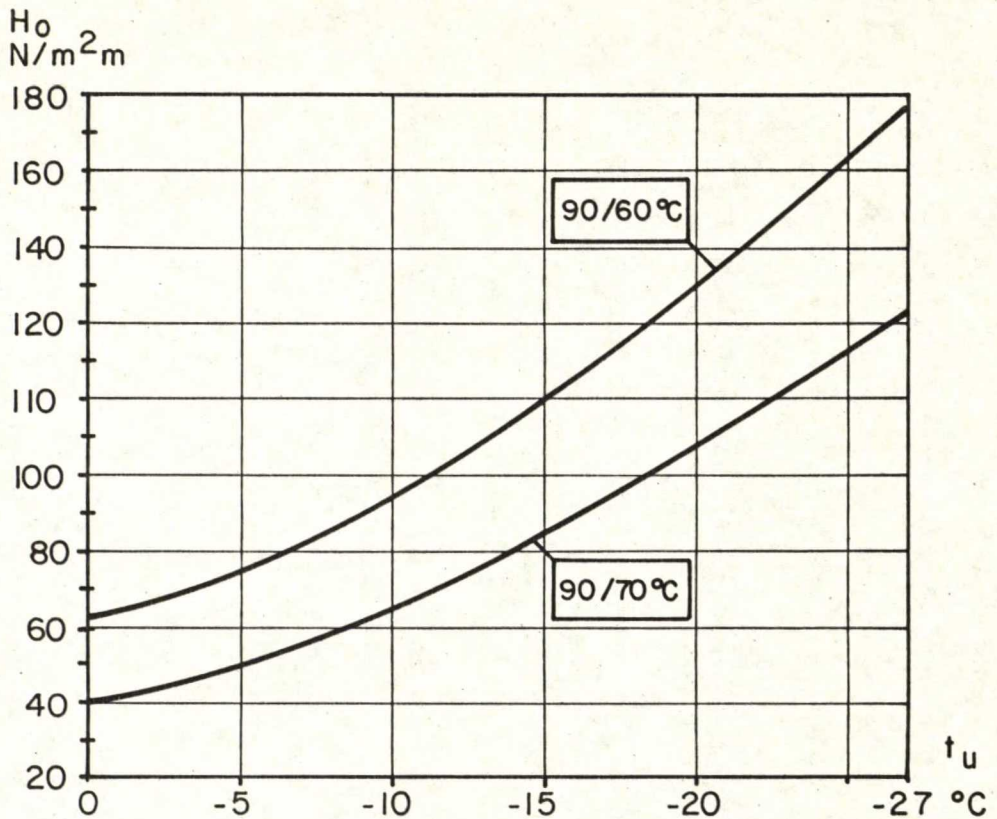
Katkoviivat  $90^{\circ}\text{C}/60^{\circ}\text{C}$

Näinollen kaavassa 23 esiintyvä kokonaiskäyttövoima vaihtelee vuodenaikojen mukaan, sillä omavoimainen kierto vaihtelee pumpun paineen pysyessä vakiona. Kuvassa 15 on esitetty molempien järjestelmien ( $90^{\circ}\text{C}/60^{\circ}\text{C}$  ja  $90^{\circ}\text{C}/70^{\circ}\text{C}$ ) omavoimainen kiertovoima korkeuden yksikköä (metriä) kohti.

Kuvasta 15 havaitaan, että järjestelmän  $90^{\circ}\text{C}/60^{\circ}\text{C}$  kiertovoima on lähellä mitoituspakkasia n. 30 %...40 % suurempi kuin järjestelmän  $90^{\circ}\text{C}/70^{\circ}\text{C}$ .

Omavoimaiseen kiertovoimaan vaikuttaa kaavan 24 mukaan myös lämmönlähteen ja vertikaalisuunnassa etäisimmän lämmönluvuttajan välinen korkeusasemien ero. Omavoimainen kiertovoima





Kuva 15. Omavoimainen kierto ulkolämpötilasta riippuvana.

Meno- ja paluuveden lämpötilat on saatu kuvasta 14.

on suoraan verrannollinen korkeuseroon. Tämä merkitsee käytännössä sitä, että mitä korkeampi rakennus on sitä suurempi on omaivoimainen kierto. Taulukkoon 10 on laskettu omavoimaisen kierron suuruus eri ulkolämpötiloilla erikorkuisissa rakennuksissa. Taulukon 10 arvot on saatu olettamalla, että rakennuksen lämmönlähde (kattila, lämmönsiirrin) sijaitsee ensimmäisessä kerroksessa ja että kerroskorkeus on n. 3 m.



Taulukko 10. Omavoimainen kierto eri ulkolämpötiloilla.

| Ulkolämpötila | 90°C/60°C         |                   |                   |                   | 90°C/70°C         |                   |                   |                   |
|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|               | Kerros-luku       |                   |                   |                   | Kerros-luku       |                   |                   |                   |
|               | 5                 | 10                | 15                | 20                | 5                 | 10                | 15                | 20                |
|               | Ho                | Ho                | Ho                | Ho                | Ho                | Ho                | Ho                | Ho                |
|               | kN/m <sup>2</sup> | kN/m <sup>2</sup> | kN/m <sup>2</sup> | kN/m <sup>2</sup> | kN/m <sup>2</sup> | kN/m <sup>2</sup> | kN/m <sup>2</sup> | kN/m <sup>2</sup> |
| -27°C         | 2,1               | 4,8               | 7,4               | 10,1              | 1,5               | 3,3               | 5,2               | 7,0               |
| -10°C         | 1,1               | 2,4               | 3,7               | 5,0               | 0,8               | 1,8               | 2,8               | 3,8               |
| 0°C           | 0,8               | 1,7               | 2,7               | 3,6               | 0,5               | 1,0               | 1,6               | 2,2               |

Saadaksemme paremman käsityksen omavoimaisen kierron suuruudesta on taulukkoon 11 laskettu omaivoimaisen kierron osuus pumpun paineesta erikorkuisissa rakennuksissa. Käytetyt pumpunpaineet ovat suuruusluokaltaan normaaleja tavallisissa 2-putkijärjestelmissä. Taulukosta 11 havaitaan, että omavoimaisen kierron suuruus voi olla 10 kerroksisessa rakennuksessa n. 7 %... 10 % pumpun paineesta riippuen järjestelmästä. Kaksikymmentäkerroksisessa rakennuksessa vastaavasti n. 10 %... 15 %.

Taulukko 11. Omavoimaisen kierron osuus pumpun paineesta, kun ulkolämpötila on -27°C.

| Kerros-luku | 90°C/60°C           |                     |                     | 90°C/70°C           |                     |                     |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|             | Pumpun paine, Hp    |                     |                     | Pumpun paine, Hp    |                     |                     |
|             | 40kN/m <sup>2</sup> | 60kN/m <sup>2</sup> | 80kN/m <sup>2</sup> | 40kN/m <sup>2</sup> | 60kN/m <sup>2</sup> | 80kN/m <sup>2</sup> |
|             | Ho/Hp               | Ho/Hp               | Ho/Hp               | Ho/Hp               | Ho/Hp               | Ho/Hp               |
|             | %                   | %                   | %                   | %                   | %                   | %                   |
| 5           | 5                   | 4                   | 3                   | 4                   | 3                   | 2                   |
| 10          | 12                  | 8                   | 6                   | 8                   | 6                   | 4                   |
| 15          | 19                  | 12                  | 9                   | 13                  | 9                   | 7                   |
| 20          | 25                  | 17                  | 13                  | 18                  | 12                  | 9                   |



LVI-suunnittelijan mitoittaessa lämmityksen kiertopumppua hän ei tavallisesti ota huomioon omavoimaista kiertoa. Normaali-tapauksessa suunnittelija lisää varmuudeksi pumpun tilavuus-virtaan 10 % mikä aiheuttaa laskettuun pumpun nostokorkeuteen 21 % lisäyksen. Jos on kyseessä tavallinen tapaus eli lämpö-keskus sijaitsee ensimmäisessä kerroksessa (omaivoimainen kierto auttaa pumppua) tulee pumpun nostokorkeuden varmuu-deksi todellisuudessa 10 kerroksisessa rakennuksessa n. 30 % ja 20 kerroksisessa n. 35 % (järjestelmä 90°C/60°C). Nämä vastaavat rakennuksen lämmöntarpeesta saatavaan pumpun tila-vuusvirtaan 10-kerroksisessa rakennuksessa 14 % varmuutta ja vastaavasti 20-kerroksisissa 16 % varmuutta.

### 3.2 Lämpökeskukset

Lämpökeskuksesta (kattilahuone tai lämmönjakeluhuone) tulee usein koko rakennuksen kallein huonetila, joten sen suunnit-teluun ja käyttövarmuuteen olisi kiinnitettävä erityistä huomiota. Lämpökeskuksen sijainnin rakennuksessa määräävät monet tekijät mm. teknilliset, arkkitehtoniset, taloudelli-set ja ympäristö- ja työsuojelulliset seikat. Lämpöteknil-lisesti ajatellen lämpökeskus olisi edullisinta sijoittaa rakennuksen lämmönkulutuksen painopisteeseen /25/.

#### 3.21 Kaukolämmön alakeskus

Kaukolämmön käyttö on kansantaloudellisesti edullinen lämmi-tysmuoto ja sen käyttö tulee huomattavasti lisääntymään. Energiapoliittisen neuvottelukunnan mukaan olisi seuraavana kymmenvuotiskautena 1975...1980 valmistuvista asuntoloista 90 % ja muista rakennuksista 85 % liitettävä kaukolämmityk-sen piiriin /26/.



Kuluttajien kaukolämpölaitteita ja näinmuodoin myös alakeskuksia koskevat valtakunnalliset ohjeet on esitetty Lämpölaitosyhdistys ry:n suosituksessa /23/. Kukaan kaukolämmön myyjä on yleensä tehnyt omia paikallisia lisäyksiä ja selvennyksiä em. suositukseen esim. /27/, /28/ ja /29/. Korkeiden rakennusten kaukolämmityksen alakeskuksia ja lämmönjakohuoneita koskevat siis samat määräykset ja ohjeet kuin muitakin rakennuksia.

Edellisessä kohdassa 3.1 havaittiin, että omavoimaisen kierron suuruus on jo huomattava korkeissa rakennuksissa etenkin, jos tulo- ja menoveden lämpötilaero on suuri. Näin on juuri kaukolämmityksessä sillä Lämpölaitosyhdistys ry suosittaa käytettäväksi järjestelmää  $90^{\circ}\text{C}/60^{\circ}\text{C}$ . Eräs suositeltava keino omavoimaisen kierron pienentämiseksi on lämpöjohtoverkoston jakaminen vertikaalisuunnassa. Tämä merkitsee sitä, että lämmönjakohuone sijoitetaan rakennuksen välikerrokseen eikä kellari- tai ensimmäiseen kerrokseen. Paras ratkaisu olisi sijoittaa alakeskus suunnilleen rakennuksen keskivaiheille ja jakaa verkosto kahteen erilliseen ryhmään rakennuksen ylä- ja alaosa varten. Lämmönjakohuoneen sijoittaminen muualle kuin alimpaan kerrokseen on usein mahdollista. Kullakin kaukolämpölaitoksella on määräyksensä välittömästi kaukolämpöverkkoon liitettävän osan suurimmasta sallitusta asennuskorkeudesta. Esimerkiksi Espoon Sähkö Oy määrää täksi korkeudeksi +38.00 kaupungin 0-tasoon verrattuna. Espoossa voitaisiin siis lämmönjakohuone periaatteessa sijoittaa n. 20...24-kerroksisen talon keskikerrokseen. Korostettakoon vielä, että sijoitettaessa lämmönjakohuonetta muualle kuin alakerrokseen on syytä aina neuvotella sijoituksesta lämpölaitoksen kanssa mm. käytettävissä olevan paineen selvittämiseksi.



Alakeskuksen sijoittaminen välikerrokseen tuo mukanaan myös omat haittansa. Suurin haitta on varmaankin ääniteknilinen, sillä lämmönjakohuone on tavallisesti rakennuksen meluisimpia tiloja. Jos lämmönjakohuone sijoitetaan välikerrokseen on erityistä huomiota kiinnitettävä koko huoneen ja siellä olevien laitteiden äänieristykseen.

Hyvä keino on sijoittaa lämmönjakohuoneen viereisiin sekä ylä- ja alapuolisiin tiloihin ns. toisarvoisia tiloja esim. varastoja.

### 3.211 Paisuntajärjestelmät

Lämmönjakohuoneen sijoittamisella pohjakerrosta ylemmäksi on myös etua ajatellen lämmitysverkoston paisuntajärjestelmää. Lämmitysjärjestelmissä tulisi aina käyttää suljettua paisuntajärjestelmää, sillä avointa järjestelmää käytettäessä on aina olemassa laitteistojen korroosiovaara /23/. Nykyisin halvin suljettu paisuntajärjestelmä perustuu ns. kalvopaisuntasäiliöiden käyttöön. Markkinoilla olevista kalvopaisuntasäiliöistä suurin osa on varustettu esipaineella, joka on suurimmillaan joko 1,5 bar tai 2,0 bar. Esipaineen tulisi olla suurempi kuin lämmitysjärjestelmässä vallitseva suurin staattinen paine, mikä muodostuu tavallisesti ylimmän lämmönkuluttajan ja kalvopaisuntasäiliön korkeusaseman erotuksesta. Kalvopaisuntasäiliön luonnollisin ja edullisin sijoituspaikka on lämmönjakohuone. Sijoitettaessa lämmönjakohuone rakennuksen keskikerrokseen voitaisiin kalvopaisunta-astioilla helposti hoitaa 12...16-kerroksisen rakennuksen lämpöjohdotverkoston paisunta. Todettakoon, että markkinoilta löytyy kalvopaisuntasäiliöitä, joissa esipaine on jopa 5 bar, mutta nämä ovat jo huomattavasti kalliimpia kuin säiliöt, joissa esipaine on 1,5 bar...2,0 bar. Kalvopaisuntasäiliötä voidaan



luonnollisestikin käyttää korkeammissakin kuin 12...16-kerroksisissa rakennuksissa, mutta tällöin paisuntasäiliö on sijoitettava tilaan, joka on n. 6...8 kerrosta ylimmän kerroksen alapuolella. Ottamalla huomioon mitä edellä sanottiin lämmönjakohuoneen sijoituksen suurimmasta korkeusasemasta voitaisiin esim. Espoossa rakentaa n. 20-kerroksinen rakennus käyttäen kalvopaisunta-astiaa, jonka esipaine olisi vain 2,0 bar.

Jos halutaan käyttää suljettua paisuntajärjestelmää ja lämmönjakohuonetta tai kalvopaisuntasäiliötä ei voida sijoittaa muualle kuin ensimmäiseen tai kellarikerrokseen on korkeammissa rakennuksissa kuin 6...8 kerroksisissa käytettävä esim. seuraavan kaltaista suljettua paisuntajärjestelmää: paisunta-astian ilma- ja vesitilat on erotettu kumikalvolla tai -putkella toisistaan, ja ilmatilan painetta säättävät paine-kytkimet, jotka ohjaavat kompressoria ja magneettiventtiiliä.

### 3.22 Rakennuskohtainen lämpökeskus

Vaikkakin kaukolämmityksen käyttö tulee voimakkaasti lisääntymään /26/ rakennetaan tulevaisuudessa vielä paljon rakennus- tai rakennusryhmäkohtaisia lämpökeskuksia eli kattilahuoneita. Tässä tarkoitetaan rakennuskohtaisella lämpökeskuksella kattilahuonetta, joka sijaitsee itse rakennuksessa, jota se palvelee. Kattilahuoneen rakentamista ja sijoitusta koskevat monet lait, asetukset ja viranomaisien määräykset ja ohjeet. Nämä luonnollisestikin koskevat myös korkeita rakennuksia. Itse kattiloita ja kattilalaitoksia koskee mm. paineastialaki 98/73 ja tämän perusteella annettu asetus 549/73 sekä asetuksen perusteella annetut kauppa- ja teollisuusministeriön päätökset 69/75, 70/75 ja 71/75.



Sisäasiainministeriö on antanut keskuslämmityslaitoksen huone- ja öljysäilytystiloja koskevia ohjeita /30/. Näissä puututaan kattilahuoneen rakenteisiin ja määrätään, että yli 45 m korkeissa (15...16 kerrosta) rakennuksissa kattilahuoneen osastoivat rakennusosat on oltava palateknilliseltä- ja tunti- luokaltaan rakennetta a2 kun matalammissa rakennuksissa riittää luokka al. Tämä koskee kantavia seiniä ja pilareita sekä muita rakennusosia, joille tulee kuormitusta kahdesta tai useammasta kerroksesta.

### 3.221 Yläkerroksissa sijaitseva lämpökeskus

Korkeissa rakennuksissa lämpökeskus voidaan sijoittaa rakennuksen ylimpään kerrokseen tai katolle. Tällaisia kattokeskuksia on ulkomailla rakennettu useita aina 9...10 MW kattilatehoille saakka /35/ ja Suomessakin on ainakin yksi kattolämpökeskus Maarianhaminassa /34/. Ulkomailla on todettu jo 10...15 kerroksisten rakennusten kattilakeskuksilla olevan huomattavia etuja verrattuna pohjakerroksessa sijaitsevaan lämpökeskukseen.

Kattokeskukset tulevat kysymykseen vain jos käytetään neste- mäisiä tai kaasumaisia polttoaineita (öljy ja kaasu). Kiinteiden polttoaineiden käyttö asettaa polttoaineen syötölle ja kuljetukselle yläkerrokseen niin suuria teknillisiä ja taloudellisia esteitä, ettei niiden käyttö kattokeskuksissa ole järkevää.

Kattokeskuksella on seuraavia etuja (/25/, /31/, /32/, /33/, /34/, /35/, /36/) verrattuna pohjakerroksessa sijaitsevaan lämpökeskukseen.



#### Tilansäästö:

- rakennuksen usein arvokkaat pohjatilat voidaan käyttää muuhun tarkoitukseen
- savupiipun vaatima tila kerroksissa jää muuhun käyttöön

#### Rakennus-, laitehankinta- ja huoltokustannusten säästö:

- savupiipusta tulee lyhyt usein vain n. 3...10 m
- kattilahuone voi olla kevytrakenteisempi
- lyhyttä piippua on helpompi huoltaa
- lämpökeskuksessa sijaitseviin laitteisiin kohdistuu pienempi staattinen paine. Tällöin voidaan käyttää esim. pienemmän rakennepaineen omaavia kattiloita, ja kalvopaisunta-astioissa voidaan käyttää pientä esipainetta

#### Energiansäästö:

- savukaasujen lämpötilaa voidaan laskea itse kattilassa n. 50°C, koska lyhyessä piipussa savukaasujen kondenssivaara on pienempi
- lyhyen piipun luonnollinen veto on pienempi, joten säänvaihtelut eivät vaikuta vetoon
- polttimen ollessa pysähdyksissä kattila jäähtyy luonnollisen vedon vaikutuksesta vähemmän
- edellä luetellut laitoksen hyötysuhteeseen vaikuttavat seikat voivat säästää polttoainetta n. 20 % /31/.

Yläkerrokseen tai katolle sijoitettavalla lämpökeskuksella on myös haittoja verrattuna pohjakerroksessa sijaitsevaan lämpökeskukseen:

- kattokeskus vaikuttaa rakennusstatistiikkaan ja näinmuodoin myös usein rakennuskustannuksia lisäävästi.



- polttoaineen kuljetus ylös vaatii erikoistoimenpiteitä. Usein käytetään öljylämmityksessä seuraavankaltaista järjestelmää: öljyn pääsäiliö sijaitsee alhaalla, mistä öljy pumpataan yläkerroksessa olevaan pienempään ns. päivä säiliöön
- öljyvahinkojen estäminen vaatii erityisiä suojaustoimenpiteitä
- kattilan sijaitessa verkoston korkeimmassa kohdassa laskee kattilan vedenpinta vuotojen sattuessa helposti tulipintojen tasolle, jolloin kattila turmeluu. Tämän ehkäisemiseksi tarvitsee kattokeskus välttämättä hyvät säätö- ja hälytyslaitteet
- kattilan tai koko kattokeskuksen nostaminen ylös saattaa vaatia erikoista nostolaitteistoa, vaikkakin nykyisin rakennuksella on useimmiten sopiva nosturi käytettävissä
- ääniteknilliset seikat vaativat erityistä huomiota
- kesällä saattaa kattokeskuksen sisälämpötila aurinгон vaikutuksesta kohota liiaksi, sillä keskus on normaalisti käytössä myös kesäisin lämpimän käyttöveden valmistamiseksi. Jos sisälämpötila nousee yli 35°C on käytettävä erillisiä tuuletuspuhaltimia.

Huomattakoon, että kattokeskusta käytettäessä kaavassa (24) esiintyvä korkeusero tulee negatiiviseksi ja omavoimainen kierto toimii lämmityksen kiertopumpun painetta vastaan. Tämä seikka on syytä ottaa huomioon mitoittaessa lämpöjohtoverkostoa.

### 3.3 Lämmitysjärjestelmät

Luvun 3 alussa todettiin, että pumppukiertoiset laitokset ovat Suomessa tällä hetkellä yleisimpiä ja että korkeissa rakennuksissa voi tulo- ja menoveden tiheyseroista johtuva



omavoimainen kierto saada aikaan häiriötä lämmitysjärjestelmässä. Seuraavassa tarkastellaan lähemmin häiriötä pumppukiertoisissa kaksi- ja yksiputkijärjestelmissä.

### 3.31 Kaksiputkijärjestelmä

Pumppukiertoisessa kaksiputkijärjestelmässä ovat radiaattorit samassa nousulinjassa kytketty rinnan meno- ja paluujohdon välille. Tällöin omavoimainen kierto muuttaa radiaattoreiden läpimenevää vesimäärää.

Kuvassa 16 on esitetty yksinkertaistettu periaatepiirros kaksiputkijärjestelmästä. Siinä on yksinkertaisuuden vuoksi otettu huomioon vain alin ja ylin radiaattori, jotka on oletettu teholtaan yhtä suuriksi. Kuvan 16 mukaisen nousulinjan vesimäärä voi vaihdella omavoimaisen kierron vaikutuksesta seuraavan kaavan mukaan /38/.

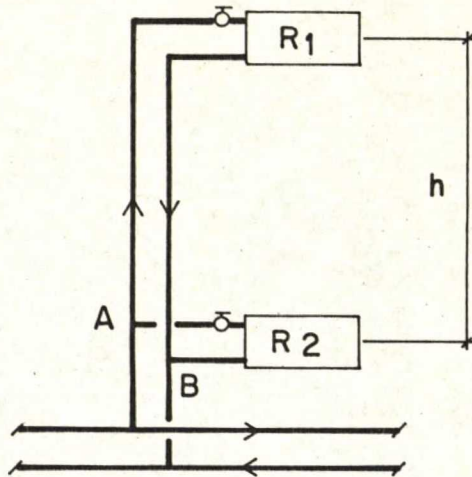
$$\frac{\Delta \dot{m}}{\dot{m}} = \frac{hg(\rho_p - \rho_m)}{\Delta p} \quad (25)$$

missä

|                            |   |
|----------------------------|---|
| $\Delta \dot{m} / \dot{m}$ | vesimäärän suhteellinen muutos                |
| $\Delta p$                 | painohäviö välillä $AR_1BR_2A$ , $N/m^2$      |
| $h$                        | radiaattoreiden korkeusasemien välinen ero, m |
| $\rho_p$                   | paluuveden tiheys, $kg/m^3$                   |
| $\rho_m$                   | menoveden tiheys, $kg/m^3$                    |
| $g$                        | putouskiihtyvyys, $m/s^2$                     |

Ottamalla huomioon vielä radiaattoreiden lämmönluovutus ja ulkoseinien lämpöhäviöt voidaan johtaa seuraavat yhtälöt /38/





Kuva 16. Kaksiputkijärjestelmän periaatepiirros

$$\frac{\Delta \dot{m}}{\dot{m}} = \frac{\left[ \frac{t_m - t'_p}{\ln \left( \frac{t_m - t'_s}{t'_p - t'_s} \right)} \right]^{\frac{4}{3}} \cdot (t_m - t_p)}{\left[ \frac{t_m - t_p}{\ln \left( \frac{t_m - t_s}{t_p - t_s} \right)} \right]^{\frac{4}{3}} \cdot (t_m - t'_p)} - 1 \quad (26)$$

$$\frac{\Delta \dot{m}}{\dot{m}} = \frac{(t'_s - t_u)(t_m - t_p)}{(t_s - t_u)(t_m - t'_p)} - 1 \quad (27)$$

joissa

|                            |                                |
|----------------------------|--------------------------------|
| $\Delta \dot{m} / \dot{m}$ | vesimäärän suhteellinen muutos |
| $t_m$                      | menoveden lämpötila, °C        |
| $t_p$                      | paluuveden lämpötila, °C       |
| $t_s$                      | sisäilman lämpötila, °C        |
| $t_u$                      | ulkoilman lämpötila, °C        |

pilkulla merkityt suureet tarkoittavat alkuperäisistä arvoistaan muuttuneita suureita.



Kaavojen (26) ja (27) avulla voidaan tutkia kuinka paljon vesivirrat muuttuvat kun sallitaan sisälämpötilalle ylimmässä huoneessa jokin lämpötilan nousu alimman kerroksen huoneen sisälämpötilaan nähden. Taulukkoon 12 on laskettu iterioiden kahden järjestelmän ( $90^{\circ}\text{C}/60^{\circ}\text{C}$  ja  $90^{\circ}\text{C}/70^{\circ}\text{C}$ ) vesivirran muutokset kun sisälämpötilan muutos  $\Delta t_s$  on  $2,0^{\circ}\text{C}$ ,  $1,0^{\circ}\text{C}$  ja  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Laskelmissa on käytetty täyden kuormituksen tilannetta eli ulkolämpötila on  $-27^{\circ}\text{C}$ .

Taulukko 12. Vesimäärän muutokset eri sisälämpötilojen muutosten arvoilla.

| Sisälämpötilan<br>muutos<br>$\Delta t_s, ^{\circ}\text{C}$ | Järjestelmä              |                          |
|--|--------------------------|--------------------------|
|  | $90/60^{\circ}\text{C}$  | $90/70^{\circ}\text{C}$  |
|  | $\Delta \dot{m}/\dot{m}$ | $\Delta \dot{m}/\dot{m}$ |
| 2,0  | 0,325                    | 0,616                    |
| 1,0  | 0,143                    | 0,236                    |
| 0,5  | 0,069                    | 0,107                    |

Taulukosta 12 havaitaan, että yhden asteen sisälämpötilan muutos antaa järjestelmässä  $90^{\circ}\text{C}/60^{\circ}\text{C}$  vesimäärän suurimmaksi muutokseksi 14 % ja vastaavasti järjestelmästä  $90^{\circ}\text{C}/70^{\circ}\text{C}$  24 %. Tästä havaitaan, että järjestelmä  $90^{\circ}\text{C}/60^{\circ}\text{C}$  on noin kaksi kertaa herkempi omavoimaisen kierron häiriöille kuin järjestelmä  $90^{\circ}\text{C}/70^{\circ}\text{C}$ .

Taulukon 12 arvojen ja kaavan 25 avulla voidaan nyt laskea mikä täytyy kuvan 16 kaltaisen piirin vastuksen  $\Delta p$  olla, jotta omavoimainen kierto ei vaikuttaisi sisälämpötilaan.



tiettyä määrää enempää. Taulukkoon 13 on laskettu kuvan 16 kaltaisen nousulinjan painehäviöt kahdella radiaattoritehol-  
la. Laskettaessa on oletettu, että radiaattorin sulcutulpan,  
itse radiaattorin ja liitäntäjohtojen kertavastuskertoimien  
summa on 20 /39/. Radiaattoriventtiilin NS 10 painehäviö  
on saatu Högforsin tuotekansiosta. Nousujohtojen kitkavas-  
tuskertoimena on käytetty  $100 \text{ N/m}^2$  metriä kohti. Kerroskor-  
keudeksi on otettu 3 m.

Taulukko 13. Kuvan 16 mukaisen piirin painehäviöt  
erikorkuisissa rakennuksissa.

| Kerros-<br>luku | 1000 W          |                 | 2000 W          |                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                 | 90/60°C         | 90/70°C         | 90/60°C         | 90/70°C         |
|                 | $\Delta p$      | $\Delta p$      | $\Delta p$      | $\Delta p$      |
|                 | $\text{KN/m}^2$ | $\text{KN/m}^2$ | $\text{KN/m}^2$ | $\text{KN/m}^2$ |
| 5               | 2,3             | 2,6             | 3,1             | 4,2             |
| 10              | 5,3             | 5,6             | 6,1             | 7,2             |
| 15              | 8,3             | 8,6             | 9,1             | 10,2            |
| 20              | 11,3            | 11,6            | 12,1            | 13,2            |

Taulukkoon 14 on laskettu kaavasta (24) taulukkojen 12 ja 13 arvoilla tarvittava kuvan 16 kaltaisen nousulinjan painehä-  
viö, jottei sisälämpötilan poikkeama ylittäisi tiettyä ar-  
voa. Laskelmat on tehty vastaamaan täyden kuormituksen ta-  
pausta eli ulkolämpötila on  $-27^\circ\text{C}$ .



Taulukko 14. Tarvittava koko piirin painehäviö (kuva 16), jotta sisälämpötila ( $20^{\circ}\text{C}$ ) ei poikkeaisi yli  $2,0^{\circ}\text{C}$ ,  $1,0^{\circ}\text{C}$  ja  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

| Kerros-<br>luku | $90^{\circ}\text{C}/60^{\circ}\text{C}$ |                       |                       | $90^{\circ}\text{C}/70^{\circ}\text{C}$ |                       |                       |
|-----------------|---|-----------------------|-----------------------|---|-----------------------|-----------------------|
|                 | Sisälämpötilan poikkeama                |                       |                       | Sisälämpötilan poikkeama                |                       |                       |
|                 | $2,0^{\circ}\text{C}$                   | $1,0^{\circ}\text{C}$ | $0,5^{\circ}\text{C}$ | $2,0^{\circ}\text{C}$                   | $1,0^{\circ}\text{C}$ | $0,5^{\circ}\text{C}$ |
|                 | $\Delta p$                              | $\Delta p$            | $\Delta p$            | $\Delta p$                              | $\Delta p$            | $\Delta p$            |
|                 | $\text{kN/m}^2$                         | $\text{kN/m}^2$       | $\text{kN/m}^2$       | $\text{kN/m}^2$                         | $\text{kN/m}^2$       | $\text{kN/m}^2$       |
| 5               | 6,5                                     | 14,7                  | 30,4                  | 2,4                                     | 6,4                   | 14,0                  |
| 10              | 14,4                                    | 33,6                  | 69,6                  | 5,4                                     | 14,0                  | 30,8                  |
| 15              | 22,8                                    | 51,7                  | 107,2                 | 8,4                                     | 22,0                  | 48,6                  |
| 20              | 31,1                                    | 70,6                  | 146,4                 | 11,4                                    | 29,7                  | 65,4                  |

Verrattaessa taulukon 14 arvoja piirin olemassa oleviin vastuksiin (taulukko 13) havaitaan, että lisäkuristusta tarvitaan järjestelmässä  $90^{\circ}\text{C}/60^{\circ}\text{C}$  ja viisikerroksisissa taloissa jos halutaan, että sisälämpötila ei mitoituspakkasilla oma-voimaisen kierron vaikutuksesta vaihtelee ylimmän ja ensimmäisen kerroksen välillä yli  $2^{\circ}\text{C}$ . Käytettäessä järjestelmää  $90^{\circ}\text{C}/70^{\circ}\text{C}$  ei yli  $2^{\circ}\text{C}$  sisälämpötilan poikkeama vaadi lisäkuorimitusta 20-kerroksisessakaan rakennuksessa.

Yleisesti ajatellen voitaisiin lisävastus kuvan 16 kaltaiseen piiriin asettaa mihin kohtaan tahansa. Lisävastus voitaisiin asettaa nousujohtoihin mitoittamalla ne mahdollisimman kireiksi, mutta tässä on se haitta, että jos osa nousulinjan radiaattoreista suljetaan, muuttuu muiden pattereiden lämmönluovutus. Jos tämä halutaan välttää, olisi lisäkuristus tapahtuttava radiaattoreiden liitäntäjohtoissa tai radiaattori-venttiilissä. Huomattakoon, että tavallisesti kellarikerroksen katon alapuolella sijaitsevan nousujohdon linjasäätöventtiiliä kuristamalla ei voida vaikuttaa omavoimaisen kierron aikaansaamaan häiriöön.



Paras ja käyttökelpoisin tapa lienee suorittaa tarvittavat kuristukset kussakin linjan radiaattoriventtiilissä. Lisäkuristuksen suuruus saadaan jakamalla taulukon 14 arvot kahdella, sillä kuvan 16 piirissä on kaksi kappaletta radiaattoreita. Taulukkoon 15 on koottu tarvittavat radiaattoriventtiilien lisäkuristukset kahdella eri lämpöteholla ja eri sisälämpötilan sallituilla poikkeamilla  $\Delta t_s$ . Taulukko 15 pätee kun ulkolämpötila on  $-27^{\circ}\text{C}$ .

Sallitun sisälämpötilan muutoksen suuruus on viihtyisyys- ja myöskin kustannustekijä. Viihtyisyyden kannalta sisälämpötilan suurimmaksi poikkeamaksi voitaisiin ehkä ottaa  $2^{\circ}\text{C}$  /40/. Todettakoon, että viihtyisyyteen vaikuttaa myös hyvin monet muut seikat kuin sisäilman lämpötila. Kustannustekijöistä huomattakoon, että  $1^{\circ}\text{C}$  sisälämpötilan nousu vastaa 5 %...6 % lämmönkulutuksen kasvua /41/. Edellisen perusteella ja ottamalla huomioon, että taulukon 15 arvot vastaavat mitoituspakkasien aikaista tulo- ja menoveden lämpötilaa voidaan antaa suuruusluokaltaan taulukon 16 esittämät ohjeelliset lisäkuristusten suuruudet erikorkuisissa rakennuksissa. Taulukon 16 arvot vastaisivat mitoituspakkasilla alle yhden asteen sisälämpötilan muutosta.

Taulukko 16. Ohjeelliset kaksiputkijärjestelmän radiaattoriventtiilien lisäkuristukset erikorkuisissa rakennuksissa.

| Kerros-<br>luku | Järjestelmä                     |                                 |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------|
|                 | $90^{\circ}/60^{\circ}\text{C}$ | $90^{\circ}/70^{\circ}\text{C}$ |
|                 | $\Delta p$                      | $\Delta p$                      |
|                 | $\text{kN/m}^2$                 | $\text{kN/m}^2$                 |
| 5               | 12,0                            | 0,4                             |
| 10              | 25,0                            | 10,0                            |
| 15              | 40,0                            | 16,0                            |
| 20              | 55,0                            | 22,0                            |



Taulukko 15. Tarvittava radiaattoriventtiilien lisäkuristus, jotta sisälämpötila ei poikkeaisi 2,0°C, 1,0°C ja 0,5°C alkuperäisestä arvostaan 20°C.

| Kerros-<br>luku | Patterin teho 1000 W            |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 | Patterin teho 2000 W            |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|                 | 90°C/60°C                       |                                 |                                 | 90°C/70°C                       |                                 |                                 | 90°C/60°C                       |                                 |                                 | 90°C/70°C                       |                                 |                                 |
|                 | $\Delta t_s, ^\circ\text{C}$    |                                 |                                 | $\Delta t_s, ^\circ\text{C}$    |                                 |                                 | $\Delta t_s, ^\circ\text{C}$    |                                 |                                 | $\Delta t_s, ^\circ\text{C}$    |                                 |                                 |
|                 | 2,0                             | 1,0                             | 0,5                             | 2,0                             | 1,0                             | 0,5                             | 2,0                             | 1,0                             | 0,5                             | 2,0                             | 1,0                             | 0,5                             |
|                 | $\Delta p$<br>kN/m <sup>2</sup> | $\Delta p$<br>kN/m <sup>2</sup> | $\Delta p$<br>kN/m <sup>2</sup> | $\Delta p$<br>kN/m <sup>2</sup> | $\Delta p$<br>kN/m <sup>2</sup> | $\Delta p$<br>kN/m <sup>2</sup> | $\Delta p$<br>kN/m <sup>2</sup> | $\Delta p$<br>kN/m <sup>2</sup> | $\Delta p$<br>kN/m <sup>2</sup> | $\Delta p$<br>kN/m <sup>2</sup> | $\Delta p$<br>kN/m <sup>2</sup> | $\Delta p$<br>kN/m <sup>2</sup> |
| 5               | 2,1                             | 6,2                             | 14,1                            | -                               | 1,9                             | 5,7                             | 1,7                             | 5,8                             | 13,6                            | -                               | 1,1                             | 4,9                             |
| 10              | 4,6                             | 14,2                            | 32,2                            | -                               | 4,2                             | 12,6                            | 4,2                             | 13,8                            | 31,8                            | -                               | 3,4                             | 11,8                            |
| 15              | 7,3                             | 21,7                            | 49,5                            | -                               | 6,7                             | 20,0                            | 6,9                             | 21,3                            | 49,1                            | -                               | 5,8                             | 19,2                            |
| 20              | 9,9                             | 29,7                            | 67,5                            | -                               | 9,1                             | 26,9                            | 9,5                             | 29,3                            | 67,2                            | -                               | 8,3                             | 26,1                            |



Taulukosta 16 havaitaan, että varsinkin käytettäessä järjestelmää  $90^{\circ}\text{C}/60^{\circ}\text{C}$  tarvittava lisäkuristus on jo viisikerroksisissakin rakennuksissa huomattavasti suurempi kuin LVI-suunnittelijan usein käyttämä arvo mitoittaessaan lämpöjohdoverkoston kiertopumppua. Tavallinen mitoitus tapa /24/ suosittaa vaikeimman piirin radiaattorin vastuksen arvoksi n.  $0,3 \text{ kN/m}^2 \dots 0,4 \text{ kN/m}^2$ . Tämä onkin suuruusluokaltaan normaalikokoisen radiaattorin (sisältää sulkutulpan ja täysin auki olevan radiaattoriventtiilin) vastus. Jos halutaan ottaa huomioon omavoimaisen kierron aikaansaamat häiriöt olisi pumppumitoituksessa käytettävä esim. taulukon 16 arvoja, etenkin yli viisikerroksisissa taloissa ja käytettäessä järjestelmää  $90^{\circ}\text{C}/60^{\circ}\text{C}$ .

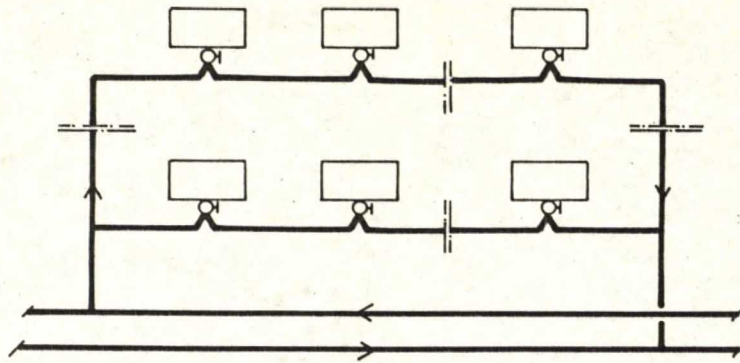
Kiertopumpun nostokorkeuden kasvaessa pumpun energiantarve myös kasvaa, mutta lähteen /38/ mukaan tämä tehontarpeen lisäys on vain noin 5 % saavutetusta polttoaineen säästöstä.

Edelläesitetty tarkastelu perustuu kuvan 16 mukaisen yksinkertaistetun nousulinjan tarkasteluun. Lähteiden /37/ ja /42/ mukaan saavutetut tulokset vastaavat suuruusluokaltaan todellisen nousulinjan tapausta, jossa jokaisessa kerroksessa on radiaattori ja jotka mahdollisesti ovat teholtaan erisuuria.

### 3.32 Yksiputkijärjestelmä

Pumppukiertoisessa yksiputkijärjestelmässä radiaattorit ovat kytketyt yhteen jakojohdtoon sarjaan. Kuvassa 17 on esitetty yksiputkijärjestelmä, joka sopii hyvin kerrostaloihin. Siinä on nousujohtot ulkoseinien läheisyydessä ja nousujohtojen välille on kerroskohtaisten jakojohdtojen avulla kytketty esim. kunkin huoneiston radiaattorit. Tällöin kussakin kerroksessa tulee nousujohtojen välille tavallisesti useita sarjaan kytkettyjä radiaattoreita, ja näinollen meno- ja paluujohdon välillä on huomattavasti suurempi painehäviö kuin kuvan 16 kaltaisessa kaksiputkijärjestelmässä.





Kuva 17. Kerrostalojen yksiputkijärjestelmä, missä lämmönjako tapahtuu ulkoseinältä

Tästä johtuen yksiputkijärjestelmä on normaalisti vähemmän herkkä korkeissa rakennuksissa tapahtuvalle omavoimaiselle kierrolle.

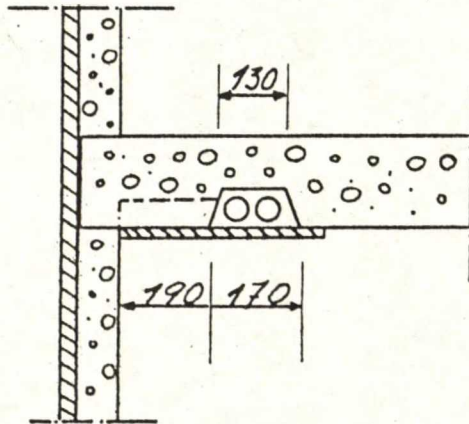
Nykyisin käytetään yksiputkijärjestelmässä erikoisesti tätä järjestelmää varten kehitettyjä radiaattoriventtiileitä /43/, /44/. Venttiileillä on mm. seuraavat ominaisuudet:

- portaaton esisäätö, joten 20 %...100 % talojohdon vesivirrasta voidaan ohjata radiaattorin kautta
- venttiilissä voi olla sisäänrakennettu kuristusosa eri kerroksien vesivirtojen tasapainottamiseksi
- täysin suljettavissa olevia, joten radiaattori voidaan irroittaa verkostoa tyhjentämättä
- venttiilissä olevat meno- ja paluukanavat eivät ole toiminnallisesti riippuvaisia toisistaan, vaan ne jakavat veden sekoittamatta meno- ja paluuvettä toisiinsa
- mahdollisuus termostaattisäätöön.



Nousujohtoina voidaan käyttää samanlaisia teräsputkia kuin kaksiputkijärjestelmässäkin. Jakojohtoina käytetään nykyään pääasiassa pienihalkaisijaisia ohutseinäisiä teräsputkia (puristusliitoksin). Voidaan myös käyttää verkkosidoksista polyeteeniputkea, mutta tällöin on otettava palomääräykset huomioon palo-osastoja lävistettäessä.

Nykyisin on yksiputkijärjestelmää alettu yhä enenevässä määrin käyttää etenkin elementtirakenteisissa asuinkerrostaloissa. Esimerkiksi Nilcon-elementtitaloissa on käytetty seuraavaa järjestelmää /45/. Nousujohtot sijoitetaan kantaviin väliseiniin (kuva 18) ja ohutseinäinen teräsputki kuljetetaan ulkoseinän vieressä lattian päällä ja peitetään jalkalistalla. Näin saadaan kaikki lämpöjohtot pois näkyvistä, sillä myös nousujohtot ovat piilossa. Kuvan 18 esittämäännousujohtouraan mahtuu kaksi kappaletta NS 32 teräsputkea.



Kuva 18. Nousujohtot kantavassa väliseinässä /45/.

Yksiputkijärjestelmän mitoitus on työläämpää kuin kaksiputkijärjestelmän koska radiaattoreiden mitoituslämpötilat muuttuvat kuljettaessa jakojohtoa eteenpäin. Radiaattoriventtiilien toimittajat ovat kuitenkin laatineet mitoitusnomogrammeja, joiden avulla mitoitus sujuu näppärästi /43/, /44/.

Asennustyötä nopeuttava pienihalkaisijaisten putkien käyttö johtuu siitä, että käytettävät radiaattoriventtiilit vaativat suhteellisen korkeita virtausnopeuksia jakojohdossa, jotta vesi kiertäisi koko radiaattorin pinnan kautta. Tästä voi muodostua myös eräs hättatekijä, sillä jos jakojohdon kuljettama lämpöteho on pieni voi tarvittava putkihalkaisija olla hyvinkin pieni esim. 6 mm. Tällöin tukkeutumisen vaara on jo olemassa.

Jakojohdon sisähalkaisijaan vaikuttaa luonnollisesti myös käytetty menoveden lämpötilan lasku koko jakojohdossa. Radiaattoriventtiilien valmistajat suosittavat jakojohdon lämpötilan laskuksi  $20^{\circ}\text{C}$  esim. järjestelmä  $90^{\circ}\text{C}/70^{\circ}\text{C}$ . Lämpölaitosyhdistys ry. kuitenkin suosittaa käytettäväksi järjestelmää  $90^{\circ}\text{C}/60^{\circ}\text{C}$ , kun liitytään kaukolämmitysjärjestelmään /23/. Tällöin lämpötilan lasku on siis  $30^{\circ}\text{C}$  ja jakojohdon sisähalkaisija tulee pienemmäksi samalla lämpöteholla ja virtausnopeudella. Lähteen /43/ mitoitusnomogrammissa on annettu jakojohdon miniminopeudeksi 0,4 m/s. Tämän perusteella on taulukkoon 17 laskettu eri jakojohdon sisähalkaisijoilla minimitehot, jotka jakojohdon on kuljetettava eri lämpötilaneroilla. Taulukkoon 17 on myös merkitty suositeltava tehon yläraja /43/.

Taulukosta 17 havaitaan, että jos  $\Delta t = 30^{\circ}\text{C}$  ja jakojohdoon on kytketty vain 1-3 radiaattoria (yhteisteho alle 2600 W) joudutaan käyttämään jakojohtoa, jonka sisähalkaisija on vain 6 mm tai 8 mm.



Taulukko 17. Suositeltavat minimi- ja maksimitehot eri jakojohdojen sisähalkaisijoilla.

| D <sub>s</sub><br>mm | 90°C/70°C   | 90°C/60°C    |
|----------------------|-------------|--------------|
|                      | Teho        | Teho         |
|                      | W           | W            |
| 6                    | 950 - 1700  | 1400 - 2600  |
| 8                    | 1700 - 2800 | 2600 - 4200  |
| 10                   | 2700 - 4500 | 4100 - 6700  |
| 13                   | 4500 - 7000 | 6700 - 10500 |
| 14                   | 4900 - 8500 | 7400 - 13000 |

Kuvan 17 kaltaisessa järjestelmässä jakojohdon painehäviöt (sisältää radiaattoriventtiilit, mutkat ja liitokset nousujohtoihin) ovat usein suuruusluokaltaan 5,0 kN/m<sup>2</sup>...20 kN/m<sup>2</sup> radiaattoreiden lukumäärästä ja johdon pituudesta riippuen. Esimerkiksi jakojohdossa 12/10 (pituus 14 m, 4 kpl radiaattoreita á 1 kW, 2 kulmaa ja 2 liitosta runkojohtoon, 90°C/70°C) on painehäviö 12,5 kN/m<sup>2</sup>. Jakojohdojen painehäviöt ovat siis aivan eri suuruusluokkaa kuin kaksiputkijärjestelmän yhden radiaattorin (kuva 16), joten yksiputkijärjestelmä on huomattavasti stabiilimpi omavoimaisen kierron aikaansaamille häiriöille. Jos katsotaan taulukossa 16 suositeltuja kaksiputkijärjestelmän radiaattoriventtiilien lisäkuristusarvoja (90°C/70°C) havaitaan, että yksiputkijärjestelmällä tullaan toimeen ilman lisäkuristusta jopa yli 15 kerroksisessa rakennuksessa. Jos lisäkuristusta tarvitaan on se helppo suorittaa radiaattoriventtiilin sisäänrakennetulla kuristusosalla. Lisäkuristus saattaa olla tarpeen käytettäessä järjestelmää 90°C/60°C. Lisäkuristuksen suuruusluokka voidaan arvioida taulukon 16 ja jakojohdon painehäviön avulla.

Yksiputkijärjestelmän hinta verrattuna kaksiputkijärjestelmään riippuu jossakin määrin käytetystä yksiputkijärjestelmän radiaattoriventtiilin tyypistä. Halvimpia malleja käytettäessä ovat järjestelmät suunnilleen samanhintaiset /45/.

### 3.4 Lämpöjohtoputkisto ja -laitteet

Korkeissa rakennuksissa kohdistuu alakerroksissa sijaitseviin lämpöjohtoihin ja -laitteisiin suurempi verkoston staattinen paine kuin matalammissa rakennuksissa. Tämä saattaa asettaa lämpöjohtoverkostolle ja siihen liittyville laitteille lisävaatimuksia paineenkestävyyden suhteen. Seuraavaan on koottu normaalissa LVI-laitoksissa käytettyjen lämpöjohtojen ja -laitteiden rakennepaineita ja esitetty huomioita kuinka korkeiden rakennusten alimmassa kerroksessa niitä voitaisiin käyttää. Kerroskorkeudeksi on otettu 3 m. Korkeutta koskevissa kommentteissa ei ole huomioitu kiertopumpun mahdollista lisäpainetta.

#### Lämpöjohdot

Tavanomaisessa kaksiputkijärjestelmässä käytetään usein SFS-standardien B.VIII.152 ja SFS 2006 tai SFS 2007 mukaisia teräsputkia. Näiden koepaine on 50 bar, mikä vastaa nimellispainetta 32 bar eli n. 320 mvp. Tämä riittää yli 100 kerroksiseen rakennukseen.

Yksiputkijärjestelmän runko- ja pohjajohtoina käytetään samoja edellä mainittuja teräsputkia. Jakojohtoina tulee kysymykseen ohutseinäiset pienihalkaisijaiset teräsputket tai verkkosidoksinen polyeteeniputki. Edellisen suurin sallittu käyttöpainetta ko. lämpötiloissa on 16 bar, vastaten 53 kerroksista rakennusta. Verkkosidoksinen polyeteeniputken maksimi käyttöpainetta 95°C lämpötilassa on 10 bar, vastaten n. 33 kerroksista taloa.



## Venttiilit

Lämpöjohtoverkostossa käytettäviä sulku-, kuristus-, säätö- ja yksisuuntaventtiilejä sekä lianerottimia on saatavissa käyttöpaineille 10 bar ja 16 bar. Nämä vastaavat rakennuskorkeuksia 10 bar = 33 kerrosta ja 16 bar = 53 kerrosta. Kaukolämpöverkoston suoranaisesti liittyvien laitteiden rakennepaine tulee olla 16 bar.

Nousujohdoissa käytettyjen linjasäätöventtiilien ja kaksiputkijärjestelmän radiaattoriventtiilien rakennepaine on 10 bar.

Yksiputkijärjestelmän radiaattoriventtiilejä on saatavissa joko 10 bar tai 6 bar suurimmalle käyttöpaineelle. Kuuden barin rakennepaine vastaa n. 20-kerroksista rakennusta.

## Radiaattorit

Uurrettuja levyradiaattoreita valmistetaan kahdelle paineluokalle: matalapaine (3 bar tai 4 bar) ja keskipaine (6 bar) mitkä vastaavat rakennuskorkeuksia 3 bar = 10 kerrosta, 4 bar = 13 kerrosta ja 6 bar = 20 kerrosta. Suomen suurin valmistaja tekee ns. vakiokokoina vain 4 bar radiaattoreita. Todettakoon, että vakiokokoiset radiaattorit ovat n. 5 % halvempia kuin ei vakiokokoiset. Matalapaineiset (4 bar) radiaattorit ovat taasen n. 16 % halvempia kuin vakiokokoiset 6 bar radiaattorit. Jos käytetään ei vakiokokoisia on matalapaineiset (4 bar) n. 10 % halvempia kuin keskipaineiset.

## Konvektorit

Konvektoreita valmistetaan edellä esitettyjen 4 bar ja 6 bar rakennepaineen lisäksi myös 9 bar rakennepaineelle (korkeapaine). Korkeapaineinen konvektori voidaan jo asentaa 30 kerroksisen rakennuksen alakerrokseen.

## Lämmönsiirtimet

Sarjavalmisteisten lämmönsiirtimien sekundääripuolen rakennepaine on normaalisti 10 bar, vastaten 33 kerrosta.

## Kattilat

Korkeissa rakennuksissa kysymykseen tulevissa teholuokissa valmistetaan vesilämmityskattiloita rakennepaineille 4 bar ...10 bar. Tavallisimmat paineluokat ovat 4 bar ja 6 bar, vastaten 13 ja 20 kerroksista rakennusta.

Korkeissa rakennuksissa voidaan kattila- ja lämmönjakohuoneen sijoituksella rakennuksen korkeuden suhteen vaikuttaa huomattavasti siihen mikä täytyy lämpökeskuksessa sijaitsevien laitteiden rakennepaineen vähintään olla. Tätä seikkaa käsiteltiin jo kohdissa 3.21, 3.211 ja 3.221.

### 3.41 Nousujohtojen lämpöliikkeen tasaus

Lämpöjohtoina käytettyjen teräsputkien lämpöliikkeen tasaminen on otettava huomioon suunnittelussa ja asennuksessa. Runkojohtojen ja hormitiloissa kulkevien nousujohtojen kiinnityksessä ja lämpöliikkeen tasaamisessa eivät korkeat rakennukset aseta mitään erityisvaatimuksia paitsi, että nousuhormin tilavarauksessa on huomioitava kiintopisterakenteiden ja kompensattoreiden tilantarve. Tavallisesti näkyvissä olevien radiaattoreille menevien nousulinjojen lämpöliikkeen tasaus saattaa ulkonäkösyistä muodostua ongelmalliseksi.

Vesilämmitysverkoston teräsputkien lämpölaajeneminen on suuruusluokaltaan 9 mm/m...12 mm/m. Keskimääräisenä arvona voidaan käyttää 1 mm/m, mikä vastaa asennuslämpötilaa +5°C /46/.



Nykyisin vallitsevan suunnittelukäytännön /47/ mukaan riittää 4...5 kerroksisissa taloissa nousujohtojen pelkkä kiinnitys johtojen keskivaiheilta, jolloin sallitaan n. kahden kerroksen välin vapaasti laajeta. Sallitun liikkuvan johto-osan pituus riippuu luonnollisesti radiaattoreille menevien liitosjohtojen pituudesta ja asennustavasta. Korkeimmissa rakennuksissa on lämpöliikkeen kompensoimiseksi käytettävä erikoistoimenpiteitä. Luonnollinen kompensointi eli esim. putkikulmien ja paisuntakäyrien käyttö on usein ulkonäkösyistä mahdotonta. Tällöin joudutaan käyttämään paljetasaimia. Erään yleisesti käytetyn paljetasainmallin suurin sallittu kuristuminen on 15 mm. Tällöin selvittää 10 kerroksisissa taloissa kahdella kiintopisteellä ja yhdellä paljetasainparilla. Tämä edellyttäen, että nousujohtojen ylä- ja alapäässä sallitaan kahden kerroksen vapaa liikkuminen. Kolmea kiintopistettä ja kahta paljetasainta käytettäessä on mahdollista hoitaa n. 14 kerroksisen rakennuksen nousujohtoon paisuminen ja vastaavasti käyttämällä neljää kiintopistettä ja kolmea paljetasainta 18 kerroksinen. Kahteenkymmeneenkahteen kerrokseen päästään viidellä kiintopisteellä ja neljällä paljetasaimella nousujohtoa kohti.

Paljetasaimia käytettäessä on huomattava ohjaimien oikea käyttö.

Eräs mielenkiintoinen ja halpa tapa hoitaa korkeiden rakennusten lämpöjohtonousujen lämpöliikkeen tasaus on vasen/oikea kiertaisen muhvin käyttö /48/. Tällaisella muhvilla voidaan tavallaan esijännittää lämpöjohtonousut. Nousujohtot kiinnitetään suunnilleen korkeutensa keskivaiheilta ja kiintopisteen ylä- ja alapuolella johdot katkaistaan ja liitetään yhteen ns. vasen/oikea muhvia käyttäen. Nyt voidaan muhvia

kiertämällä "esijännittää" kiintopisteen ylä- ja alapuolinen johto-osa. Todellisuudessa ei ole kysymys varsinaisesta esijännityksestä vaan pikemminkin laitoksen lämmittyä venyneiden nousujohtojen oikaisemisesta. Tätä tapaa käytettäessä on kukin erilainen nousulinja liitántäjohtoineen ja radiaattoreineen tutkittava erikseen. Varsinaisessa asennusvaiheessa 1. kiristettäessä muhvia tarvitaan asennuspaikalla erityisohjeita ja usein tavallista tiukempaa työsuorituksen valvontaa. Edellä mainittua menetelmää on menestyksekkäästi sovellettu 8-10 kerroksisissa asuinrakennuksissa.

### 3.5 Lämmitysverkoston äänikysymykset

Korkeiden rakennusten LVI-laitteissa syntyvän ja niitä pitkien etenevän melun torjuntaan sopivat luonnollisestikin saatavat toimenpiteet ja suunnitteluohjeet kuin muidenkin kerrostalojen. Yleisiä LVI-melun ja niinmuodoin myös lämmityslaitteiden äänikysymyksiä on käsitelty mm. lähteissä /49/, /50/ ja /51/.

Korkeiden rakennusten luonteesta johtuen voi niiden lämpöjohdoissa ja -laitteissa esiintyä ääniteknilisiä ongelmia, joita ei ole matalammissa rakennuksissa.

Kattolämpökeskuksista puhuttaessa mainittiin jo kattokeskuksen vaativan erityistä huomiota äänieristyksen suhteen, sillä keskuksen lattian alapuolella saattaa olla esim. asuintiloja. Paras tapa olisi luonnollisesti sijoittaa keskuksen alapuolelle ja/tai sivuille ääniteknilisestikin vähemmän vaativia tiloja kuten esim. irtaimistovarastoja tms. Sama koskee myös välikerrokseen sijoitettua kaukolämpöalakeskusta. Tarkempia kattokeskuksen äänieristystoimenpiteitä on mainittu lähteessä /35/.



Omavoimaisen kierron hättävähikutuksen ehkäisemiseksi joudutaan kaksiputkijärjestelmän radiaattoriventtiilejä kuristamaan. Sovellettaessa taulukon 16 lisäkuristusarvoja on venttiiliä valittaessa otettava huomioon ettei ylitetä sallittuja äänitasoja /52/. Markkinoilta löytyy malleja, joissa lisäkuristus voi olla  $20 \text{ kN/m}^2 \dots 65 \text{ kN/m}^2$  ilman ettei ylitetä 30 dB(A). Jos on pelättävissä äänivaikeuksia radiaattoriventtiilejä kuristettaessa on mahdollisuus mitoittaa nousu- ja etenkin radiaattoreiden liitosjohdot tiukemmiksi. Lähteessä /38/ mainitaan, että on mahdollista käyttää niinkin suuria virtausnopeuksia kuin 3 m/s.

Lämpöjohtojen nousulinjojen lämpöliike saattaa myös aiheuttaa ikävää ääntä. Tästä syystä olisi kiinnitettävä huomiota käytettyihin ohjainrakenteisiin ettei hankausääntä syntyisi.

### 3.6 Yhteenvedo

Korkeiden rakennusten vesikeskuslämmitysverkostoa suunniteltaessa tulisi tulo- ja menoveden tiheyserojen aikaansaama omavoimainen kierto ottaa huomioon. Tämän kierron aikaansaamat häiriöt huonelämpötiloissa ovat jo huomattavat kymmenkerroksisissa rakennuksissa, kun käytetään kaksiputkijärjestelmää ja tulo- ja menoveden arvoja  $90^\circ\text{C}/60^\circ\text{C}$ .

Omavoimaista kiertoa voidaan pienentää jakamalla verkosto vertikaalisuunnassa eri ryhmiin tai kuristamalla kunkin kerroksen radiaattoriventtiilejä. Verkoston ryhmiinjakaminen vaatii yleensä lämpökeskuksen tai ainakin pumppauskeskuksen sijoittumista rakennuksen välikerrokseen. Ryhmiinjaolla korkeussuunnassa on myös etua silloin jos korkeassa rakennuksessa on käytetty seinärakenteita, joilla on hyvä eristyskyky mutta erittäin pieni lämpökapasiteetti, jolloin ylimpien kerrosten lämmöntarve saattaa olla tuulen vaikutuksesta erilainen kuin alakerroksien /18/.

Käytettäessä yksiputkijärjestelmää ja tulo- ja menoveden lämpötiloina  $90^{\circ}\text{C}/70^{\circ}\text{C}$  voidaan 20-kerroksinenkin rakennus suunnitella yhtenäisiä alhaalta ylös kulkevia nousujohtoja käyttäen siten, ettei tarvita suuriakaan lisäkuristuksia jakojohdoissa.

Korkeissa rakennuksissa, joissa on oma kattilahuone, voidaan kattilahuoneen sijoittamisella ylimpään kerrokseen tai katolle saavuttaa huomattavia etuja verrattuna kellarissa sijaitsevaan lämpökeskukseen.

Rakennuksen korkeudesta johtuva lämmitysverkoston staattinen paine asettaa normaalisti käytetyille lämpöjohtolaitteille ensimmäisenä vaatimuksia radiaattoreiden suhteen, sillä ns. matalapaineradiaattoreiden rakennepainne on 3 bar tai 4 bar valmistajasta riippuen. Nämä vastaavat 10- ja 13-kerroksisen rakennuksen lämmitysjärjestelmän staattista painetta.



#### 4 VESIJOHDOT JA VIEMÄRIT

##### 4.1 Yleistä

Nykyisin on rakennusten vesi- ja viemärilaitteiden suunnittelua ohjaillut ns. RVV-kirja, joka on Suomen Kunnallisteknillisen Yhdistyksen julkaisu Rakennusten vesijohdot ja viemärit /53/. Kirjassa on määrätty mm. käytettävät materiaalit, mitoitusperusteet ja sallitut asennustavat. Yhteispohjoismaisista tarpeista lähtien valmistelee sisäasiainministeriö tällä hetkellä uusia määräyksiä koskien kiinteistöjen vesi- ja viemärilaitteistoja /54/. Nämä uudet määräykset ja ohjeet tulevat muuttamaan vesi- ja viemärilaitteistojen suunnittelua nykyisestä käytännöstä, sillä mm. mitoitusperusteet tulevat olemaan toiset kuin RVV-kirjassa.

##### 4.2 Vesijohdot

###### 4.21 Yleistä

Korkeiden rakennusten vesilaitteiston (laitteisto talousveden johtamista varten /54/) suunnittelu ja asennus saattaa asettaa lisävaatimuksia verrattuna matalampiin taloihin. Tavallisin rakennuksen lisääntyneen korkeuden mukana tuoma ongelma on vesilaitoksen verkoston paineen riittämättömyys ylimpien kerrosten käyttöventtiilejä varten.

###### 4.22 Mitoitus

Luonnoksen /54/ mukaan: Vesilaitteisto on mitoitettava valitsevat paineolosuhteet huomioon ottaen niin, että vesijohdot kalusteista saadaan niiden toimintaan nähden riittävä virtaama ilman häiritsevää melua ja haitallisia paineiskuja.

Uudet määräykset /54/ suosittaa seuraavanlaisia mitoitus-  
poja ja -menetelmiä riippuen yleisen vesijohdon painesuh-  
teista.

#### Tapaus 1

$P_1 \leq 700 \text{ kN/m}^2$  ja  $P_n > 30 \text{ kN/m}^2$ . Rakennuksen kerrosluku kor-  
keintaan 4. ( $P_1$  on alimmassa käyttöventtiilissä käytettävissä  
oleva paine ja  $P_n$  ylimmässä käyttöventtiilissä käytettä-  
vissä oleva paine.)

- voidaan käyttää luonnoksessa /54/ esitettyä tauluk-  
komitoitusta

#### Tapaus 2

$P_1 \leq 700 \text{ kN/m}^2$  ja  $P_n > 30 \text{ kN/m}^2$ . Rakennuksen kerrosluku  
suurempi kuin 4.

- mitoittettava painehäviölaskelmia käyttäen
- jaetaan rakennus enintään neljä kerrosta käsittä-  
viin ryhmiin, joissa käytetään taulukkomitoitusta

#### Tapaus 3

$P_1 > 700 \text{ kN/m}^2$  ja  $P_n > 30 \text{ kN/m}^2$

- käytettävä paineenalennusta ja mitoitus taulukolla  
tai painehäviölaskelmia käyttäen
- paineen alennus voidaan suorittaa joko koko verkos-  
tolle tai sen osalle



#### Tapaus 4

$$P_n < 30 \text{ kN/m}^2$$

- tarvitaan paineen lisäystä
- paineen lisäys voidaan suorittaa joko koko verkostolle tai sen osalle

Korkeissa rakennuksissa tulee kysymykseen lähinnä tapaukset 2 ja 4, mutta tapaus 3 voi tulla mukaan, kun käytetään paineenkorotusta.

RVV-kirjan mukaan voidaan taulukkomitoitusta (RVV-kirjan mukainen taulukko) käyttää enintään 6 kerrosta käsittävässä asuinrakennuksessa, jossa pohjajohdon vaakasuora pituus ei ylitä 30 metriä. Korkeammissa kuin 6 kerroksisissa rakennuksissa on käytettävä paineenhäviölaskelmiin perustuvaa mitoitusta eli ns. vesijohtojen tarkkaa mitoitusta. Alimman käyttöventtiilin suurimmasta sallitusta käytettävissä olevasta paineesta ei ole annettu mitään arvoa.

Verrattaessa mitoitusohjeita havaitaan, että uudet määräykset pakottavat korkeiden rakennusten vesijohtoverkoston jakamiseen ryhmiin tai käyttämään paineenalennusventtiilejä alimmissa kerroksissa. Ylimmän ja alimman käyttöventtiilin suurin sallittu käyttöpaineiden ero on  $670 \text{ kN/m}^2$ . Tämä vastaa n. 22...24-kerroksisen rakennuksen vesijohtoverkoston staattista painetta ylimmän ja alimman käyttöventtiilin välillä. Sallimalla vesijohtoverkoston vaikeimmalle piirille kitka ja muotovastushäviöitä  $100 \text{ kN/m}^2$  /53/ päädytään käyttöpaineiden eroon  $560 \text{ kN/m}^2$ . Tämä tulee kysymykseen n. 18...20-kerroksisissa rakennuksissa. Uusien määräyksien mukaan voitaisiin siis n. 18...20-kerroksisen rakennuksen vesijohtoverkosto suunnitella ilman ettei verkostoa jaeta korkeussuunnassa osiin tai käytetä alemmissa kerroksissa paineenalennusta.

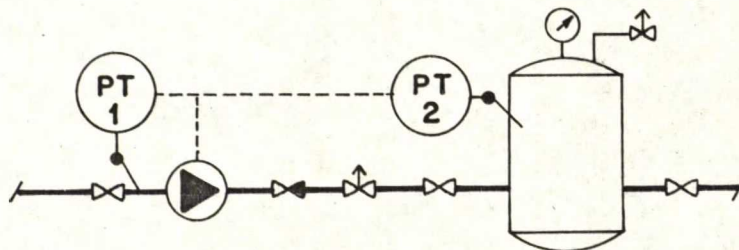
Tässä ei tarkemmin puututa uusien määräyksien mukaiseen vesijohtojen mitoittamiseen, mutta todettakoon, että mitoituksen perustana olevat normaalivirtaamat ovat pienentyneet noin kolmanneksella.

#### 4.23 Vesijohtopaineen korotus

Jos yleisen vesijohdon paine ei ole riittävä, tai se ei ole jatkuvasti riittävä, joudutaan vesijohtopainetta lisäämään. Näin on usein laita juuri korkeissa rakennuksissa.

Uusien määräyksien /54/ mukaan: Vesijohtopaineen lisäämiseen tarvittavat laitteet sallitaan ainoastaan vesilaitoksen luvalla. Paineenlisäysasema on varustettava tarpeellisilla säätölaitteilla ulostulopaineen säätämiseksi niin, ettei synny häiritseviä painenvaihteluja eikä melua, sekä tarpeellisilla varolaitteilla liian korkean ylipaineen estämiseksi.

Kuvan 19 mukainen painesäiliö ja vakiokierroslukuinen pumpu toimii hyväksyttävänä paineenlisäysasemana /54/.

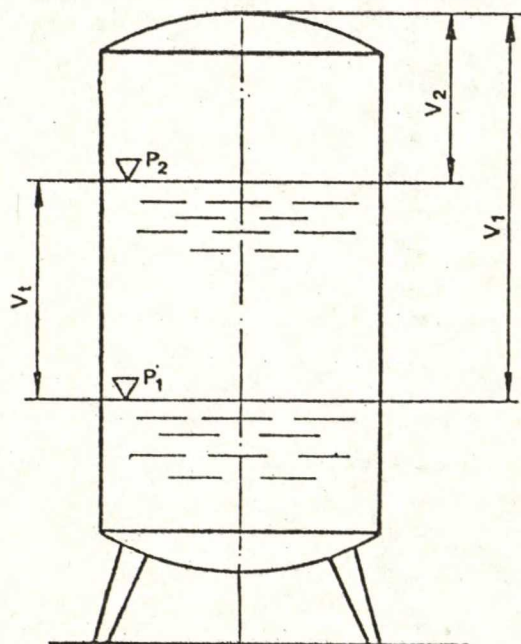


Kuva 19. Periaatepiirros paineenlisäysasemasta, jossa on vakiokierroslukuinen pumpu ja painesäiliö /54/.



Kuvan 19 painekeytkin PT 1 asetetaan siten, että se pysäyttää pumpun, jos paine laskee arvoon  $20 \text{ kN/m}^2$ . Painesäiliön syöttöjohdon varoventtiiliä ei tarvita, jos pumpun suurin paine alittaa painesäiliön suunnittelupaineen vähintään arvolla  $200 \text{ kN/m}^2$ , muulloin se asetetaan siten, että se avautuu n.  $50 \text{ kN/m}^2$  pumpun katkaisupainetta korkeammassa paineessa.

Paineenlisäysasema, jossa on painesäiliö ja vakiokierroslu-  
kuinen pumppu toimii periaatteessa seuraavasti. Pumpun painaessa vettä säiliöön siellä oleva ilma puristuu kokoon. Kun haluttu paine on saavutettu pysähtyy pumppu. Kokoonpuristunut ilma pitää vesijohtoverkoston paineenalaisena, kunnes vedenotto alentaa paineen asetettuun arvoon, jolloin pumppu käynnistyy uudelleen. Koska ilma vie huomattavan osan säiliön tilavuudesta, ainoastaan osaa säiliön tilavuudesta voidaan käyttää veden varastointiin. Tätä tilaa kutsutaan säiliön tehotilavuudeksi ja se vastaa kytkentä- ja katkaisupaineiden ilmatilavuuksien erotusta.



Kuva 20. Kaavassa 26 käytetyt merkinnät

Painesäiliölle pätee Boyle-Mariotte'n laki. Kuvan 20 merkintöjä käyttäen voidaan tehotilavuudelle johtaa kaava /55/

$$V_A = P_O \frac{(P_2 - P_1)}{P_2 P_1} V_O \quad (28)$$

missä

|       |                                    |
|-------|------------------------------------|
| $V_t$ | tehotilavuus, $\text{m}^3$         |
| $V_O$ | säiliön tilavuus, $\text{m}^3$     |
| $P_O$ | ilmanpaine tai lisäilmanpaine, bar |
| $P_1$ | kytkentäpaine, bar                 |
| $P_2$ | katkaisupaine, bar                 |

Kaavassa 26 esiintyvät paineet tarkoittavat absoluuttista painetta.

Taulukkoon 18 on laskettu tehotilavuudet eri kytkentä-, katkaisu- ja lisäilmanpaineilla.

Taulukko 18. Painesäiliön tehotilavuudet. Kytkentäpaine, katkaisupaine ja lisäilmanpaine tarkoittavat bar ylipainetta /55/.

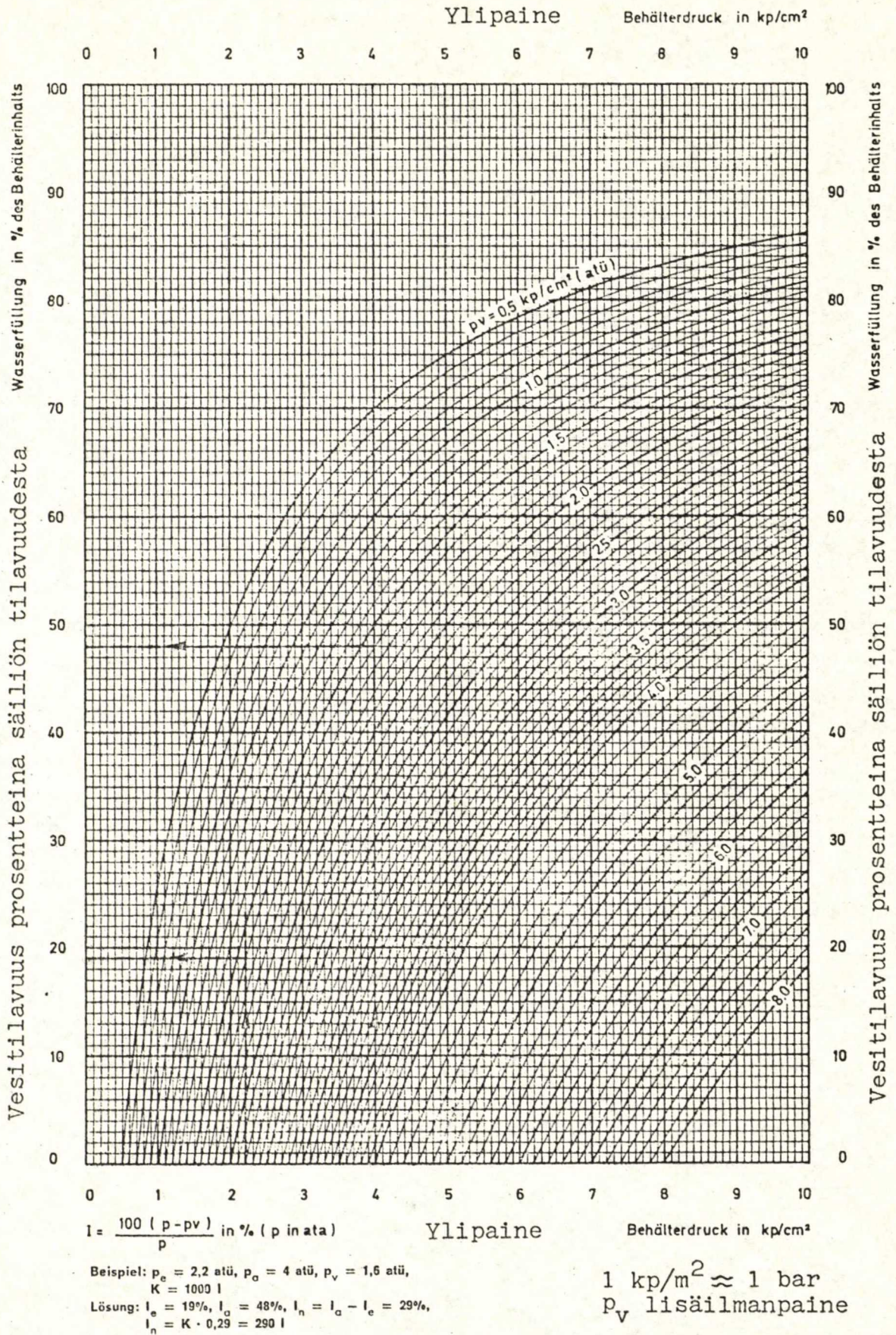
|                                     |     |    |     |     |     |    |     |     |     |     |    |     |    |     |    |
|-------------------------------------|-----|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|----|-----|----|-----|----|
| KytKentäpaine                       | P1  | 1  | 1   | 1,5 | 1,5 | 2  | 2   | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 3  | 3   | 3  | 4   | 4  |
| Katkaisupaine                       | P2  | 2  | 2,5 | 2,5 | 3   | 3  | 3,5 | 3,5 | 4   | 4,5 | 4  | 4,5 | 5  | 5,5 | 6  |
| Tehotilavuus % säiliön tilavuudesta |     |    |     |     |     |    |     |     |     |     |    |     |    |     |    |
| Lisäilmatta                         |     | 17 | 21  | 11  | 15  | 8  | 11  | 6   | 9   | 10  | 5  | 7   | 8  | 5   | 6  |
| Lisäilmanpaine                      | 0,5 | 25 | 32  | 17  | 23  | 13 | 17  | 10  | 13  | 16  | 7  | 10  | 13 | 7   | 9  |
|                                     | 1,0 |    |     | 23  | 30  | 17 | 22  | 13  | 17  | 21  | 10 | 14  | 17 | 9   | 11 |
|                                     | 1,5 |    |     |     |     | 21 | 28  | 16  | 22  | 26  | 12 | 17  | 21 | 12  | 14 |
|                                     | 2,0 |    |     |     |     |    |     | 19  | 26  | 31  | 15 | 21  | 25 | 14  | 17 |
|                                     | 3,0 |    |     |     |     |    |     |     |     |     |    |     |    | 17  | 23 |

Taulukosta 18 käy ilmi, että tehotilavuus on hyvin vaatimaton, jos ilman alkupaineena on vain ulkoilman paine. Tästä syystä painesäiliöön puristetaan tavallisesti lisäilmaa. Lisäilman paineen tulee kuitenkin aina olla vähintään n. 0,5 bar pumpun kytkentäpainetta pienempi, jottei ilma pääsisi ryöstäytymään verkostoon.

Koska säiliön ilma absorboituu veteen on säiliöön ajoittain lisättävä ilmaa. Tämä käy parhaiten kompressorin avulla. Kompressorit voivat olla joko käsikäynnisteisiä tai käynnistys voidaan automatisoida.

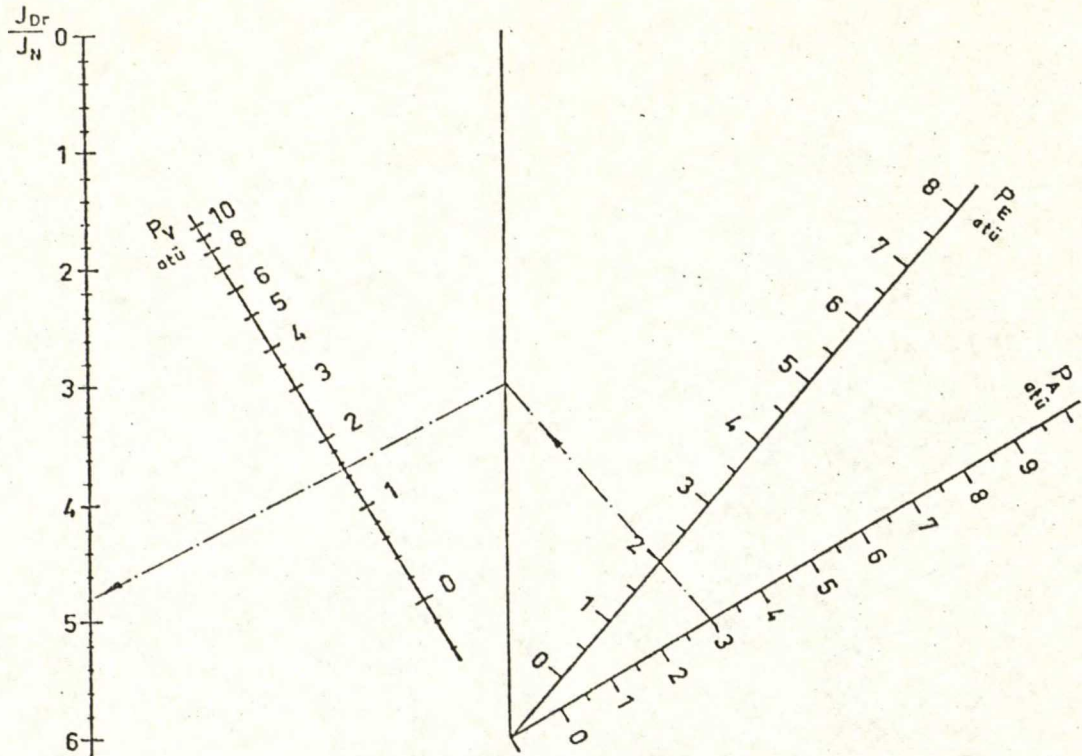
Painesäiliön tehotilavuus voidaan määrätä myös kuvien 21 ja 22 nomogrammien avulla.





Kuva 21. Nomogrammi painesäiliön tehotilavuuden määrittämiseksi /56/.





Kuva 22. Nomogrammi paisuntasäiliön tehotilavuuden määrittämiseksi.  $J_{Dr}$  on säiliön kokonaistilavuus,  $J_N$  tehotilavuus,  $P_e$  kytkentäpaine,  $P_a$  katkaisupaine ja  $P_v$  lisäilmanpaine /56/.

Kuvan 19 mukaisen paineenlisäysaseman pumppuina käytetään normaalisti keskipakopumppuja, joissa on tarvittavasta nostokorkeudesta riippuen yksi tai useampia juoksupyöriä. Pumput ovat joko vaaka- tai pystyakselisia. Nykyisin on siirrytty yhä enemmän käyttämään pystyakselistaa mallia, koska tällöin on pumpun vaatima tilantarve (lattiapinta-ala) pienempi kuin käytettäessä ns. petipumppua.

Paineenkorotuspumpun kierrosluku saa enintään olla 25 1/s (1500 r/min) /53/ ja pumpun ominaiskäyrän tulee olla loiva. RVV-kirja /54/ määrää, että nostokorkeudella, joka on n. 1 bar käynnistyspainetta suurempi, tulee pumpun antaman



vesimäärän olla vähintään puolet käynnistyshetken vesimäärästä.

Pumpun vesimäärän pitäisi olla vähintään yhtäsuuri kuin sen palveleman verkoston suurin hetkellinen vedentarve.

$$q_p \geq q_v \quad (29)$$

missä

$q_p$  pumpun vesimäärä,  $\text{dm}^3/\text{s}$

$q_v$  suurin hetkellinen tarvittava vesimäärä,  $\text{dm}^3/\text{s}$

Pumpun vesimäärän valintaan vaikuttaa edellisen lisäksi se kuinka isoksi painesäiliö halutaan rakentaa, ja kuinka usein halutaan pumpun käynnistyvän ja kytkeytyvän. Pumpun vesimäärälle, säiliön tehotilavuudelle ja käyntiajoille voidaan johtaa seuraavat yhtälöt /57/

$$T = iz = \frac{q_v 60}{q_p} \quad (30)$$

$$V_t = \frac{(q_p - q_v)z}{60} = \frac{(60 - T)q_v}{160} \quad (31)$$

$$V_o = q_v \frac{(V_o/V_t)}{(q_v/V_t)} \quad (32)$$

joissa

$T$  pumpun käyntiaika yhdessä tunnissa, min/h

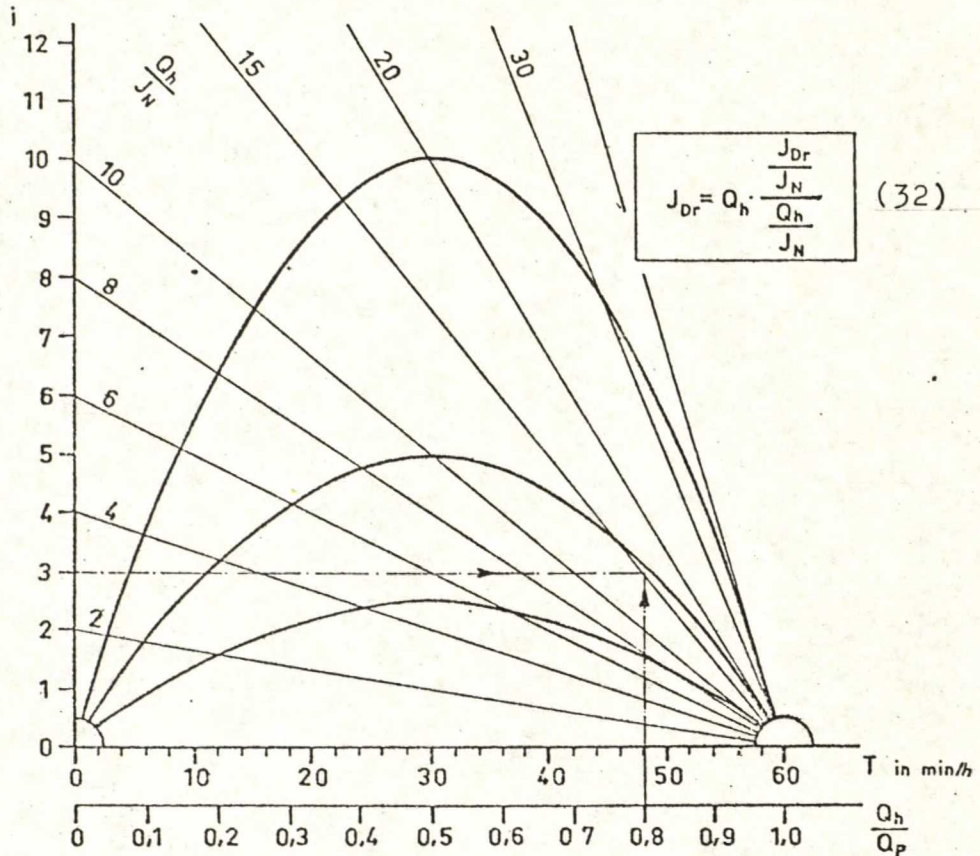
$i$  tunnissa tapahtuvien käynnistysten lukumäärä, 1/h

$z$  pumpun käynnissäoloaika kunkin käynnistytksen ta-  
pahduttua, min (normaalisti 4...10)

$V_o$  painesäiliön kokonaistilavuus,  $\text{dm}^3$

$V_t$  painesäiliön tehotilavuus,  $\text{dm}^3$

Kuvassa 23 on esitetty nomogrammi, mistä selviää  $T$ :n ja  $i$ :n sekä suhteiden  $q_v/q_p$  ja  $q_v/V_t$  väliset riippuvuudet.



Kuva 23. Suhteen  $q_v/V_t$  määrittäminen /56/.

$$Q_n = q_v, Q_p = q_p, I_{Dr} = V_o \text{ ja } I_N = V_t$$

Kuvien 22 ja 23 avulla painesäiliön suuruuden määrittäminen tapahtuu seuraavasti: KytKentä-, katkaisu- ja lisäilmanpaineen arvoilla saadaan kuvasta 22 suhde  $V_o/V_t$ . Suhteen  $q_v/q_p$  ja tunnissa suoritettavien käynnistysten perusteella saadaan kuvasta 23 suhde  $q_v/V_t$ . Tiedettäessä laitoksen suurin hetkellinen vesimäärän tarve, voidaan säiliön tilavuus laskea kaavasta 32.



Kuvaan 23 on myös piirretty pumpun toimintapisteen urat kun säiliön tehotilavuus ja pumpun nostokorkeus ovat vakioita ja vesimäärää muuttuu. Urat ovat parabelin muotoisia ja saavuttavat maksimiarvon kun  $T = 30$  min eli  $q_v/q_p = 0,5$ . Tästä johtuen kannattaa pysyä parabelin vasemmalla puoliskolla, ettei painesäiliön tilavuus samoilla käyntijaksojen lukumäärillä suurenisi. Voidaan siis esittää pumpun ominaiskäyrälle vaatimus /57/

$$\frac{q_{p2}}{q_{p1}} < 0,5 \quad (33)$$

missä

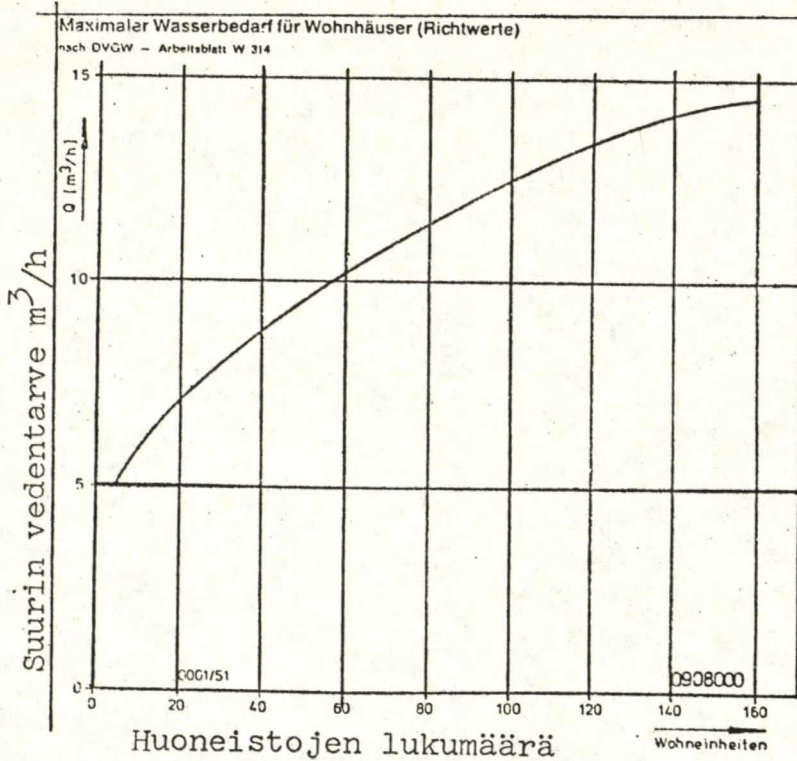
$q_{p2}$  katkaisupainetta vastaava pumpun vesimäärä,  $\text{dm}^3/\text{s}$   
 $q_{p1}$  kytkentäpainetta vastaava pumpun vesimäärä,  $\text{dm}^3/\text{s}$

RVV-kirja /53/ suosittelee valittavaksi säiliön kokonaistilavuuden niin, että tehotilavuus tulee pumpattua täyteen kahdessa minuutissa eli  $z = 2$  min. Lähde /57/ antaa suurimmaksi tunnissa tapahtuvien käynnistysten lukumääräksi 5 kpl eli  $i = 5$  l/h. Kaavasta 30 laskemalla havaitaan, että tällöin pumppu käy 10 min tunnissa. Tämä vastaa  $q_v/q_p$  arvoa 0,17 mikä täyttää ehdon (33)

Suurimman hetkellisen vedentarpeen arvioimiseen voidaan käyttää käyrästöjä, tai vesijohtojen mitoituksessa käytettyjä normaalivirtaamia. Kuvassa 24 on esitetty saksalaista alkuperää oleva vedenkulutuskäyrästö.

RVV-kirja esittää käytettäväksi seuraavaa kaavaa

$$q_v = 0,15 \sqrt{N} \quad (34)$$



Kuva 24. Asuintalojen vedenkulutus /55/.

missä

$q_v$  suurin hetkellinen vedenkulutus,  $dm^3/s$   
 $N$  normaaliventtiilien /53/ lukumäärä

Uusissa määräyksissä /54/ on virtaamia pienennetty. Samaan tapaan kuin kaava 32 voidaan johtaa

$$q_v = 0,17\sqrt{Q} \quad (35)$$

missä  $Q$  on normaalivirtaamien summa.

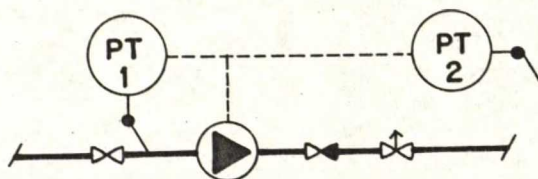
Kuvan 19 kaltaisen paineenlisäysaseman paineekorotuspumpun vesimäärän ja painesäiliön tilavuuden mitoitus riippuu paljon siitä minkälainen on kohteen vedenkulutuksen ajallinen



jakautuma. Esimerkiksi toimistorakennuksissa ja asuintaloissa jakaantuu vuorokautinen vedenkulutus hyvinkin eritavalla. Mitoitettaessa laitteistoa olisi kohteen todennököinen vuorokautinen vedenkulutusjakautuma oltava tiedossa.

Varmuussyistä tulisi paineenkorotusasema varustaa kahdella pumpulla - pääpumpulla ja varapumpulla. Pumput kytketään siten, että varapumppu kytkeytyy päälle, jos paine laskee alle pääpumpun kytkentäpaineen tai jos pääpumppussa esiintyy toimintahäiriöitä. Pumppuja on kuitenkin käytettävä vuorotellen pääpumppuna.

Uudet määräykset /54/ hyväksyvät myös kuvan 25 kaltaisen paineenlisäysaseman.



Kuva 25. Periaatepiirros paineenlisäysasemasta, jossa on kierroslukusäätöinen pumppu.

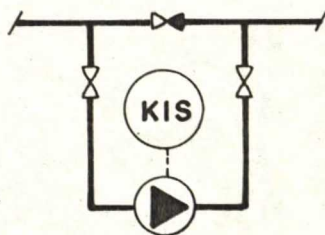
Painelähetin PT 1 on asetettava siten, että se pysäyttää pumpun, jos paine laskee arvoon  $20 \text{ kN/m}^2$ . Varoventtiilin asetusarvo on sellainen, että se alkaa avautua  $50 \text{ kN/m}^2$  painesäätäjän PT 2 pitoarvoa korkeammassa paineessa. Varoventtiiliä ei kuitenkaan tarvita, jos pumpun suurin paine alittaa vesilaitoksen suunnittelupaineen vähintään arvolla  $200 \text{ kN/m}^2$ .

Kuvan 25 kaltaisessa paineenlisäysasemassa on oleellisena osana pumppu, jonka kierroslukua voidaan tarpeen mukaan säätää. Tällöin voidaan ylläpitää haluttua painetta vesimäärän

muuttuessa. Tässä ei tarkemmin puututa pumpun kierrosluvun säädön tekniikkaan, mutta todettakoon, että suurin syy kierroslukusäädön käyttöön on energiansäästö, sillä kierroslukusäätöinen pumppu vaatii huomattavasti vähemmän tehoa pienillä kuormituksen arvoilla kuin vakiokierroslukuinen pumppu /58/. Vakiokierroslukuisen pumpun hankintakustannukset ovat taas vuorostaan paljon pienemmät kuin kierroslukusäätöisen.

Nykyisin on Suomessakin saatavilla tehtaalla valmiiksikoottuja paineenlisäysasemia. Saatavilla on molempia suosituksessa /54/ mainittuja tyyppejä (kuva 19 ja 25). Tällaisen esivalmistetun paineenlisäysaseman kytkeminen vesijohtoverkostoon on yksinkertaista ja aikaasäästävää. Asemien suunnittelussa on kiinnitetty huomiota äänettömään käyttöön, pieneen tilantarpeeseen, vähäiseen huoltotarpeeseen ja suureen käyttövarmuuteen. Mallissa, jossa on painesäiliö (kuva 19), säiliöt on yleensä valittu niin pieniksi, ettei niitä voida pitää varaussäiliöinä. Ne toimivat yksinomaan kytkentälaitteina ja paineiskutasaajina.

Kohteissa, jossa veden tarve on suuri ja tasainen (ainakin osan vuorokautta) on käytetty kuvan 26 mukaista kytkentää, jossa tulojohtoon on asennettu vakiokierroslukuinen paineenkorotuspumppu.



Kuva 26. Suoraan johtoon kytketty vakiokierroslukuinen paineenkorotuspumppu.



Pumppu voi olla jatkuvasti käynnissä tai sen käyntiä voidaan ohjata kytkinkellon avulla. Pumppu on mitoittettava paineen- nostoaseman palvelevan verkoston koko vedentarpeen mukaan.

Huomattakoon, ettei uudet määräykset /54/ tunne kuvan 26 kaltaista kytkentää.

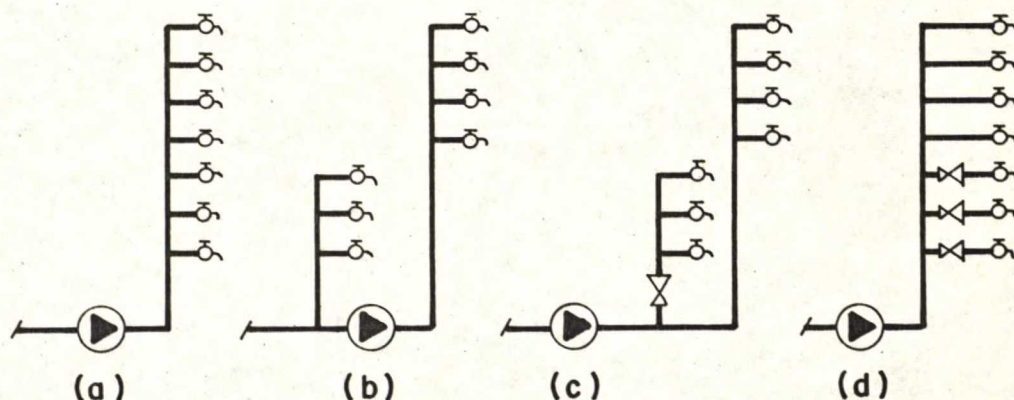
Paineenlisäysasemaa suunniteltaessa olisi erikoista huomiota kiinnitettävä aseman meluttomuuteen. Pumppujen värinäneristykset on suunniteltava ja tehtävä huolella. Paineenlisäysasema olisi sijoitettava tiloihin, joista ilmastointi ei välittömästi pysty tunkeutumaan esim. asuinhuoneistoihin. Tämä tarkoittaa sitä, että paineenkorotushuoneen ympärille olisi sijoitettava ns. toisarvoisia tiloja esim. varastoja tms.

Jos käytetään paineenlisäysasemaa mihin liittyy painesäiliö, on suunnittelussa ja sijoituksessa noudatettava paineastioita koskevia lakeja ja asetuksia sekä viranomaisten määräyksiä ja -ohjeita.

#### 4.24 Verkoston vertikaalinen jako

Edellä jo todettiin, että uusien määräysten /54/ mukaan joudutaan yli 20-kerroksisissa rakennuksissa pakostakin käyttämään paineenalennusta tai jakamaan verkosto osiin, koska alimmassa käyttöventtiilissä sallitaan enintään  $700 \text{ kN/m}^2$  paine. Äänivaatimusten vuoksi on usein alennettava käyttöventtiilissä sallittua suurinta painetta alle  $700 \text{ kN/m}^2$ , jolloin paineenalennus tai verkoston jakaminen tulee kysymykseen jo paljon matalammissakin rakennuksissa kuin 20-kerroksisissa.

Korkeissa rakennuksissa on kuitenkin normaalisti kysymys siitä, että yleisen vesijohtoverkoston paine ei riitä rakennuksen yläosissa sijaitseville käyttölaitteille. Tällöin on turvauduttava paineenkorotukseen. Nyt on mahdollista syöttää koko rakennuksen vedentarve paineenkorotus- aseman kautta tai käyttää paineenlisäystä vain niille osille, joihin vesi ei omalla paineella nouse. Jos käytetään järjestelmää missä rakennuksen koko vesimäärä syötetään paineenlisäysaseman kautta saatetaan joutua tilanteeseen, jossa alakerroksien käyttöventtiileihin kohdistuu määräysten tai äänivaatimusten takia liian korkea paine. Tällöin joudutaan verkosto jakamaan osiin, joissa paine on vaatimuksia vastaava. Paine voidaan myös alentaa kunkin kerroksen jakojohdoin asennetuilla paineenalennusventtiileillä, tällöin siis kukin kerros muodostaa verkoston osan, jonka enimmäispaine täyttää asetetut vaatimukset. Kuvassa 27 on havainnollistettu eri tapaukset piirroksilla.



Kuva 27. Vesijohtoverkoston osiin jakaminen.

Tapauksessa (a) on koko verkosto paineenkorotuspumpun takana. Alimmissa kerroksissa saattaa vaikuttaa liian suuri paine. Tapauksessa (b) korotetaan vain tarvittavien kerrosten painetta ja alemmat kerrokset hoidetaan yleisen vesijohtoverkoston paineella. Tällöin tulee paineenlisäysasema pienemmäksi



ja halvemmaksi sekä saadaan koko rakennukseen tasaisempi paine. Kustannuksia lisää tietenkin alimmissa kerroksissa ylimääräinen nousujohto. Tapaus (c) edustaa tilannetta (a), mutta nyt on alimpien kerrosten paine liian suuri ja se on yhden paineenalennusventtiilin avulla erotettu omaksi osakseen. Tapauksessa (d) on sama tilanne, mutta kukin liian korkeassa paineessa oleva kerros on erotettu nousujohdosta paineenalennusventtiilillä. Verrattaessa tapauksia (c) ja (d) havaitaan, että tapauksessa (c) on ylimääräinen nousujohto kun taas tapauksessa (d) joudutaan käyttämään useampia paineenalennusventtiilejä. Luonnollisestikin voidaan käyttää myös edellälueteltujen tapausten yhdistelmiä.

Mitään yleispätevää ohjetta ei voida antaa verkoston jakamiseksi osiin. Kukin tapaus on erikseen tutkittava suunnitteluvaiheessa. Lähinnä tulee kysymykseen taloudellinen optimointi: kannattaako vetää erillinen nousujohto vai käyttää paineenalennusventtiilejä. Nykyisin on markkinoilla luotettavia ja suhteellisen halpojakin automaattisia paineensäätimiä /59/, joten teknistä estettä niiden käyttöön ei ole.

Rakennuksissa, joissa on suuret äänitekniset vaatimukset, täytyy vesijohtokalusteiden valintaan kiinnittää huomiota, sillä markkinoilla on sekä hiljaisia että äänekkäitä malleja. Eräässä melututkimuksessa /60/ todettiin melutason pysyvän tyydyttävänä, jos kalusteiden virtauspaine oli alle  $200 \text{ kN/m}^2$  ...  $250 \text{ kN/m}^2$ . Tätä suuremmilla virtauspaineilla on kavitaation syntymisen vaara mitä ilmeisin. Tähän perustuen olisi vesijohtoverkosto jaettava osiin, joissa suurin kunkin ryhmän virtauspaine olisi n.  $200 \text{ kN/m}^2$ . Koska kalusteiden normaalivirtaaman virtauspaine on  $50 \text{ kN/m}^2$ , jää ryhmän käytettäväksi n.  $150 \text{ kN/m}^2$ , mikä vastaa 4-kerroksisen rakennuksen vesijohtoverkoston staattista painetta. Tällöin siis voitaisiin 4-kerroksinen rakennus hoitaa yhtä automaattista



paineenalennusventtiiliä käyttämällä. Korkeammissa rakennuksissa olisi rakennus jaettava neljä kerrosta käsittäviin ryhmiin, joita palvelisi yksi paineenalennin kutakin ryhmää kohti. Edelläkuvattua ryhmäjakoa on menestyksellä käytetty Oy Yleisradio Ab:n Pasilan televisiokeskuksessa /50/.

#### 4.25 Lämpimän käyttöveden valmistus ja jakelu

Keskitetty lämpöisen käyttöveden valmistus kuuluu nykyään jo luonnostaan suomalaiseen kerrostalorakentamiseen. Samoin lämpimän veden kierto on miltei yksinomaan järjestetty toimivaksi kiertopumpun avulla, eikä painovoimaan perustuvaa kiertoa nykyään enää käytetä.

Edellä käsiteltiin jo kylmävesiverkoston jakamista vertikaalisuunnassa sopiviin ryhmiin. Paineen alentamista koskevat vaatimukset ovat tietenkin samat lämpöisen käyttöveden kalusteille kuin kylmävesikalusteillekin, ja kuvan 26 tapaukset ovat sovellettavissa myös lämpöiseen käyttövesiverkoston. Huomattakoon, että todellisuudessa kuvan 26 paineenalennusventtiilien lukumäärä tulee siis kaksinkertaiseksi.

Kunkin ryhmän kiertajohtoon on asennettava kertasäätöventtiili, jotta eri ryhmien kierto voitaisiin tasapainoittaa. Tällöin voidaan eri ryhmät yhdistää ja käyttää yhteistä kiertopumppua.

Korkeissa rakennuksissa olisi houkuttelevaa käyttää omavoimaista kiertoa hyväksi, sillä onhan kiertovoima suoraan verrannollinen nousujohdon korkeuteen. Kiertovoima on myös suoraan verrannollinen tulo- ja menoveden tiheyseroon kuten jo lämmitystä käsiteltäessä todettiin. Meno- ja kiertojohdon lämpötilaero on  $10^{\circ}\text{C} \dots 20^{\circ}\text{C}$  /53/. Jos käytetään menoveden



lämpötilana yleistä mitoitusarvoa  $55^{\circ}\text{C}$  on omavoimaisen kiertovoiman suuruusluokka  $70 \text{ N/m}^2$  metriä kohti. Tämä arvo on suhteellisen pieni, ja se johtaisi suuriin kiertojohdon halkaisijoihin etenkin pohjajohtojen osalta. Omavoimaista kiertoa käytettäessä ei eri paineryhmien kiertojohtoja voida yhdistää, sillä tarvittavien kertasäätöventtiilien vastus on liian suuri. Tämä johtaisi siihen, että kukin verkoston paineryhmä tarvitsisi oman varaajansa tai lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimensä /61/. Tämä lisäisi huomattavasti lämpimän käyttövesilaitteiden hankintahintaa.

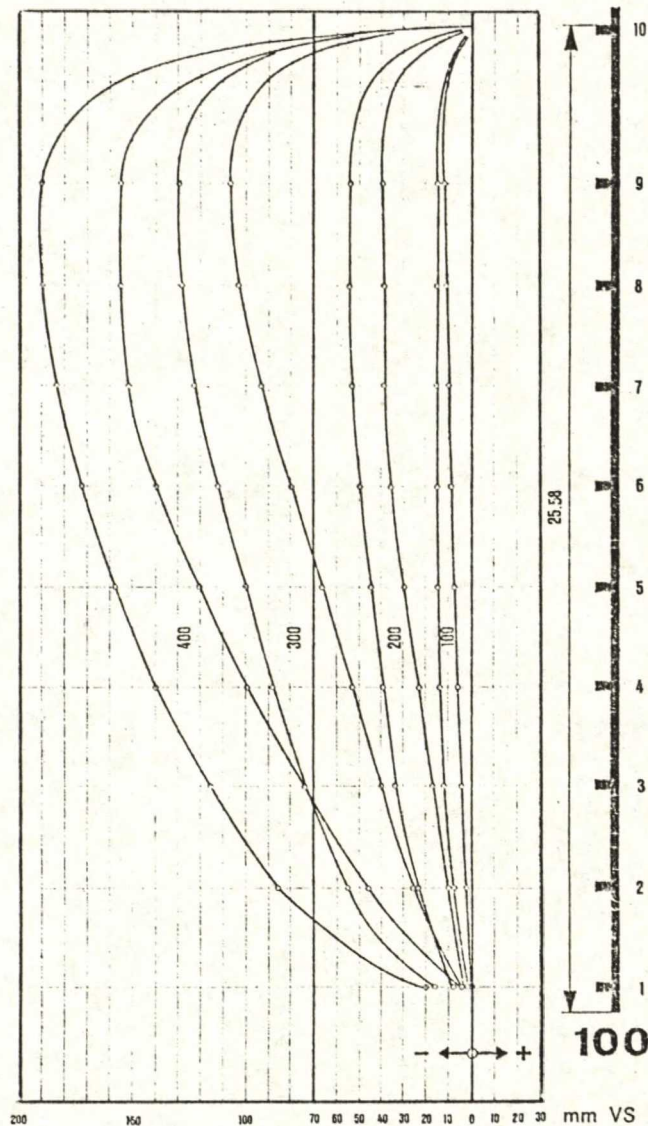
#### 4.3 Viemärit

##### 4.31 Likavesiviemärit

##### 4.311 Yleistä

Korkeiden rakennusten likavesiviemäröinti ei oleellisesti poikkea muiden kerrostalojen viemäröinnistä. Rakennuksen korkeuden kasvaessa tulee pystyviemärit (pystysuorat kokoojaviemärit /54/) pitemmiksi ja niihin liittyy enemmän vaakaviemäreitä (kytkentäviemäreitä /54/). Tällöin samaan pystyviemäriin liittyvien viemäripisteiden todennäköinen samanaikaiskäyttö lisääntyy ja pystyviemärin virtaamat kasvavat. Pystyviemärin tehtävänä on paitsi viedä haaraviemäreistä jätevettä pohjaviemäriin, myös jakaa ilmaa haaraviemäriin. Viemäriveden virratessa vesilukon kautta haaraviemäriin ja edelleen pystyviemäriin saattaa viemäriissä syntyä alipaine, koska vesi vie ilmaa mukanaan. Jos ilmaa ei johdeta tilalle jotain muuta tietä haara- tai pystyviemäriin, ulkoilman paine työntää vettä vesilukosta viemäriin ja vesilukko saattaa tyhjentyä, jolloin viemärikaasut pääsevät vapaasti tunkeutumaan huonetilaan.

Korkeissa pystyviemäreissä ja niihin liittyvissä haaraviemäreissä saattaa esiintyä suuriakin alipaineita. Kuvassa 28 on esitetty sveitsiläisten mittausten /62/ perusteella havaittuja alipaineita 10-kerroksisen talon NS 100 pystyviemärissä, kun ylimpään haaraviemäriin on laskettu vettä 20 l/min...400 l/min ( $0,3 \text{ dm}^3/\text{s}$ ... $6,7 \text{ dm}^3/\text{s}$ ).



Kuva 28. NS 100 pystyviemärin alipaineet 10-kerroksisessa talossa, ylimpään haaraviemäriin lasketun vesimäärän funktiona ( $1 \text{ mm VS} \approx 10 \text{ N/m}^2$ ,  $100 \text{ l/min} = 1,7 \text{ dm}^3/\text{s}$ )



Ruotsalaisen tutkimuksen /63/ mukaan syntyi viidennen kerroksen haaraviemärissä (lattiakaivo ja WC)  $240 \text{ N/m}^2$  alipaine kun huuhtelut tapahtuivat samanaikaisesti 6., 7. ja 8. kerroksessa. Huuhdeltaessa samanaikaisesti 10., 11. ja 12. kerroksessa syntyi 9. kerroksen haaraviemäriin  $420 \text{ N/m}^2$  alipaine. Tästä voidaan päätellä, että huuhtelupisteen korkeussijainnilla tarkastelupaikkaan nähden on merkitystä alipaineen suuruuden suhteen.

Suomalaiset määräykset /53/, /54/ eivät anna sallitulle alipaineen suuruudelle mitään arvoa. Sveitsissä on viemärit suunniteltava siten, että suurempaa alipainetta kuin  $400 \text{ N/m}^2$  ei sallita ja tämä alipaine saa kestää vain yhden sekunnin ajan. Kuvasta 28 nähdään  $400 \text{ N/m}^2$  alipaineen syntyvän, kun vesimäärä on n.  $2,5 \text{ dm}^3/\text{s}$  (150 l/min).

Suomessa vaaditaan rakennuksen sisäpuolella olevan vesilukon sulkevan osan vähimmäissyvyudeksi 50 mm. Ulkomaisten mitausten ja tutkimuksien /62/, /64/ mukaan tämä on riittävä syvyys, kunhan vain haara- ja pystyviemärit mitoitetetaan ja asennetaan määräysten /54/ mukaan.

Korkeiden rakennusten viemärijohtojen materiaalin valinnassa on huomioitava, että sisäasiainministeriö on lausunnossaan /65/ määrännyt, että PVC-viemäreitä ei tulisi käyttää A-luokan rakennuksissa. A-luokkaan kuuluvat rakennukset, joiden korkeus on suurempi kuin 28 m /66/. Tämä merkitsee sitä, että yli 10-kerroksisissa rakennuksissa muoviviemäreitä ei voi käyttää ilman tapauskohtaisia neuvotteluja paikallisten paloviranomaisten kanssa. Muissa kuin A-luokan rakennuksissa tulee muoviviemäreiden palosuojauksessa noudattaa sisäasiainministeriön ohjeita /65/.

Edellisen perusteella voidaan todeta, että yli 10-kerroksisissa rakennuksissa viemäriverkosto olisi tehtävä valurautaisia viemäriputkia käyttäen. Luonnollisestikin voidaan myös käyttää mm. kupariputkia, mutta ne ovat hinnaltaan kalliimpia kuin valurautaiset viemäriputket.

#### 4.312 Pystyviemärin mitoittaminen

Tuuletetussa pystyviemärissä kulkeutuva vesi muodostaa viemäriputken seinämille vesimanttelin, joka painovoiman vaikutuksesta valuu alaspäin. Putken keskellä kulkevan ilmavirran nopeus riippuu putken pituudesta, sen on todettu lisääntyvän n. 1 m/s jokaista kerrosta kohti. Tämä pätee kuitenkin vain 6. kerrokseen (n. 18 m) saakka, minkä jälkeen nopeuden kasvu hidastuu.

Pystyviemärissä valuvalle vesikalvolle voidaan johtaa kaava /67/

$$Re = \frac{\dot{V}}{2\pi r v} \quad (36)$$

missä

|           |  |
|-----------|--|
| Re        | Reynoldsin luku  |
| $\dot{V}$ | valuvan nesteen tilavuusvirta, m <sup>3</sup> /s       |
| r         | putken säde, m   |
| v         | nesteen kinemaattinen viskositeetti, m <sup>2</sup> /s |

Sveitsissä suoritetuissa tutkimuksissa /67/ havaittiin NS 100 viemärin Reynoldsin luvun olevan n. 1800 niinkin pienellä tilavuusvirralla kuin 0,56 dm<sup>3</sup>/s. Valuvassa nestekerroksessa on turbulentin ja laminaarisen virtauksen raja-arvo jossakin Re = 100 ja 1000 välillä /68/. Tästä voidaan päätellä, että



pienilläkin virtaamilla on pystyviemärin virtaus luonteeltaan turbulenttista. Samoissa tutkimuksissa /67/ havaittiin, että 1,3 m pituisen vesikalvon paksuus vaihteli 0,3 mm... 0,5 mm, kun  $Re = 1800$ . Keskimääräinen kalvon paksuus oli 1 mm ja laminaarin rajakerroksen paksuus oli 0,3 mm. Suuremmilla virtaamilla kalvon paksuus kasvoi ja pisarointia alkoi tapahtua, vieläkin suuremmilla vesimäärillä syntyi pystyviemäriin tulppavirtaus, mutta n. 0,3 mm laminaarinen rajakerros säilyi koko putken sisäpinnalla. Kalvon kohdatessa pystyviemäriin liittyvän haaraviemärin suun se taipuu haaraviemäriin päin, ja näin vettä tunkeutuu haaraviemäriin. Veden tunkeutumisesta auttaa vielä pystyviemärissä vaikuttava ylipaine silloin, kun ylempää putoava koko putken täyttämä vesipatsas (tulppavirtaus) työntää ilmaa edellään. Tässä on syy miksi esim. lähelle pystyviemäriä yhdistetty lattia-kaivo saattaa padottaa ja työntää vettä vesilukon läpi. Tulppavirtauksen ohitettua haaraviemärin suun vaikuttaa pystyviemärissä alipaine, joka saattaa imeä haaraviemäriin liittyvän vesilukon tyhjäksi. Tutkimuksessa /67/ havaittiin NS 100 pystyviemäriin liitettyjen kahden WC:n yhtäaikaisten huuhtelun aikaansaaman tulppavirtauksen (n. 4,7 l/s) kuljet-tavan jopa  $3 \text{ m}^3$  ilmaa edellään aiheuttaen n.  $650 \text{ N/m}^2$  alipaineen. Kuten aikaisemmin jo todettiin, Sveitsissä sallitaan  $400 \text{ N/m}^2$  alipaine pystyviemärissä, ja se saa kestää vain yhden sekunnin. Vesilukko, jonka sulkevan osan korkeus on 50 mm, saattaa tällöin päästää viemärikaasuja lävitseen 5... 10 päivän kuluttua jos viemäripistettä ei tänä aikana käytetä.

Nykyiset suomalaiset pystyviemäreiden mitoitusohjeet (RVV-kirja /53/) ovat todennäköisesti perustuneet kokemukseen ja saksalaisiin normeihin. Uusien määräysten luonnoksesta /54/ voidaan vetää johtopäätös, että tulevat pystyviemäreiden mitoitusnomogrammit perustuvat yhteispohjoismaisen komitean käyttämään /69/, /70/ osittain täytetyn pystyviemärin ns. Wyly-Eaton'in kaavaan /71/



$$q = 7,9 k \frac{1}{6} d^{\frac{8}{3}} f^{\frac{5}{3}} \quad (37)$$

missä

|   |   |
|---|---|
| q | vesimäärä osatäytölle, m <sup>3</sup> /s  |
| k | karheuskerroin  |
| d | putken sisähalkaisija, m  |
| f | täyttökerroin, joka ilmaisee veden täyttämän osuuden putken poikkipinta-alasta (pystyviemäreillä f = 0,2) |

Taulukossa 19 on verrattu RVV-kirjan /53/ ja uusien määräysten luonnoksen /54/ mitoitusperusteilla saatavia suurimpia mahdollisia kerroslukuja, kun pystyviemäriin viemäröidään kussakin kerroksessa erilaisia tiloja. Käytetyt tilat ovat keittiö (K) sisältäen kaksialtaisen astianpesualtaan ja kylpyhuone (Kh), jossa on lattiakaivo, pesuallas ja WC. Ras-  
kaimpana tapauksena on otettu mukaan tilanne, missä sekä keittiö että kylpyhuone on viemäröity samaan pystyviemäriin.

Taulukosta 19 havaitaan, että uusien määräysten mukaan /54/ sallitaan samankokoiseen pystyviemäriin liitettävän huomattavasti enemmän kerroksia. Tämä onkin luonnollista, koska normaalivirtaamia on pienennetty. Poikkeuksen muodostaa keittiön NS 70 pystyviemäri. Uusien määräysten mukaan saadaan vain 5 kappaletta kaksialtaisia astianpesupöytiä liittää yhteen NS 70 pystyviemäriin, kun RVV-kirjan /53/ mukaan olisi mahdollista liittää 12 kpl samanlaisia astianpesupöytiä. Tämä johtunee siitä, että keittiöviemäreiden on todettu pesuaineiden vaahtojen ja rasvaisen viemäriveden takia tukkeutuvan muita viemäreitä helpommin /72/, /73/.



Taulukko 19. Suurimmat mahdolliset kerrosluvut liitettäessä erilaisia tiloja tuuletettuihin pystyviemäriin.

| Viemä-<br>roitävä<br>tila | RVV                           |        |         | Luonnos /54/ |        |        |
|---------------------------|-------------------------------|--------|---------|--------------|--------|--------|
|                           | Kerrosluku                    |        |         | Kerrosluku   |        |        |
|                           | NS 70                         | NS 100 | NS 150  | NS 70        | NS 100 | NS 150 |
| Kh                        | -                             | 12     | 100     | -            | 25     | 263    |
| K                         | 12                            | 30     | 250     | 5            | 150    | 1583   |
| Kh + K                    | -                             | 8      | 71      | -            | 21     | 226    |
|                           | NS 100 + NS 150 <sup>1)</sup> |        |         |              |        |        |
| Kh                        | 12                            | +      | 8 = 20  |              |        |        |
| K                         | 30                            | +      | 20 = 50 |              |        |        |
| Kh + K                    | 8                             | +      | 6 = 14  |              |        |        |

1) Tuuletusviemäri NS 150

Huomattakoon, että vastikään Suomen markkinoille tullutta kotimaista PVC-viemäriuututta NS 90 viemäriputkea ei ole erikseen mainittu uusien määräysten luonnoksessa /54/, eikä näinollen vielä tässä vaiheessa tiedetä saadaanko NS 90 viemäriä käyttää WC:n viemäröinnissä. RVV-kirjahan pitää WC:n viemäröinnissä käytetyn viemärin vähimmäishalkaisijana NS 100. PVC-viemärin NS 90 valmistajan suunnitteluohteen /71/ mukaan voitaisiin tuuletettuun NS 90 pystyviemäriin liittää 7-kerroksisen rakennuksen kylpyhuone (WC, lattiakaivo, pesuallas). Liitettäessä samanlaisia kylpyhuoneita kaksi kappaletta kussakin kerroksessa NS 90 pystyviemäriin voitaisiin tällä tavoin hoitaa 5-kerroksinen rakennus.

Korkeiden rakennusten pystyviemäreissä kiinnostaa lähinnä raja, mistä alkaen NS 100 tuuletettu pystyviemäri olisi suurennettava NS 150 viemäriksi, sillä NS 150 pystyviemäri vie

huomattavasti enemmän tilaa nousuhormissa kuin NS 100, ja näin nousuhormin tilantarve kasvaa. Seuraavassa on lueteltu kerroskorkeudet, joilla eri maissa voidaan viemäröidä yhden ns. normaali asuinhuoneiston viemäripisteet NS 100 tuuletettuun pystyviemäriin. Normaalihuoneisto vastaa taulukossa 19 esitettyä yhdistelmää Kh + K.

#### Suomi

- RVV-kirjan /53/ mukaan NS 100 riittää 8-kerroksisessa talossa. Jos pystyviemäri suurennetaan 8. kerroksen jälkeen NS 150 ja tuuletusviemärinä käytetään NS 150 päästään 20. kerrokseen
- uusien määräysten ehdotuksen mukaan voitaisiin NS 100 pystyviemärillä hoitaa 21 huoneistoa. Yhteispohjoismaisen komitean ehdotuksessa /70/ on myös mahdollisuus kuormittaa NS 100 pystyviemäriä 25 % enemmän jos 21. - 22. kerroksen väliin liitetään ylimääräinen sekundäärituuletusviemäri, joka nousee vesikaton yläpuolelle saakka. Tällöin NS 100 riittäisi aina 26. kerroksiseen rakennukseen

#### Sveitsi

- NS 100 tuuletettuun pystyviemäriin saa liittää 16 kpl WC:tä, joten 16-kerroksinen asuinrakennus voidaan hoitaa NS 100 pystyviemärillä / 62 /.

#### Saksan liittotasavalta

- 13-kerroksinen rakennus on mahdollista liittää NS 100 tuuletettuun pystyviemäriin /69/

#### Englanti ja Australia

- 10-kerroksiseen asuinrakennukseen riittää NS 100 /74/



## Neuvostoliitto

- lähteessä /75/ olevan taulukon mukaan sallittaisiin NS 100 viemärissä maksimivirtaama  $4,5 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Tämä vastaa suomalaisten uusien määräyksien /54/ mukais- ta todellista virtaamaa NS 100 tuuletetussa pysty- viemärissä.

Edellisen perusteella voidaan todeta, että nykyiset määräyk- set (RVV-kirja /53/) ovat muihin maihin verrattuna tiukat mitoitettaessa NS 100 tuuletettua pystyviemäriä. Uusien mää- räysten luonnoksen /54/ perusteella taas vaikuttaa siltä, että tulevaisuudessa Pohjoismaissa sallittaisiin NS 100 tuu- letettuun pystyviemäriin liitettävän enemmän viemäripisteitä kuin muissa maissa nykyään on sallittua.

Korkeiden rakennusten viemäröintivaikkeudet on myös usein rat- kaistu käyttämällä kahta tuuletettua pystyviemäriä, jotka on säännöllisin välein yhdistetty toisiinsa niin, ettei vesi kuljet toisesta pystyviemäristä toiseen. Tällainen tapa on vielä nykyäänkin käytössä, mm. DDR:ssa /76/, /77/. Esimer- kiksi 36-kerroksisen hotelli Stad Berlin'in viemäröinnissä on kukin kylpyhuone yhdistetty kahteen tuuletettuun pysty- viemäriin, ja nämä pystyviemäri on liitetty lyhyellä väli- tuuletusjohdolla toisiinsa joka neljännessä kerroksessa /76/.

Sveitsissä on 1950-luvulla käytetty järjestelmää, missä tuu- letetun pystyviemärin rinnalla on kulkenut erillinen tuule- tusviemäri, joka on yhdistetty ylä- ja alapäästään pystyvie- märiin. Kunkin kerroksen kohdalla on tuuletusviemäri vielä yhdistetty pystyviemäriin erillisellä johdolla /78/.

Yhdysvalloissa on korkeissa taloissa perinteisesti käytetty ns. kaksiputkijärjestelmää, missä pystyviemärin lisäksi on eril- linen tuuletusviemäri. Normaalisti tämä erillinen pystytuu- letusviemäri on yhdistetty joka kerroksessa pystyviemäriin



vaakatuuletusviemärillä, johon on myös johdettu pitempien haaraviemäreiden tuuletus (katso kuva 32).

Nämä järjestelmät toimivat hyvin, sillä tuuletus on järjestetty riittäväksi eikä suuria alipaineita pääse syntymään. Haittapuolena on kuitenkin ylimääräisten tuuletusviemäreiden aiheuttamat kustannukset.

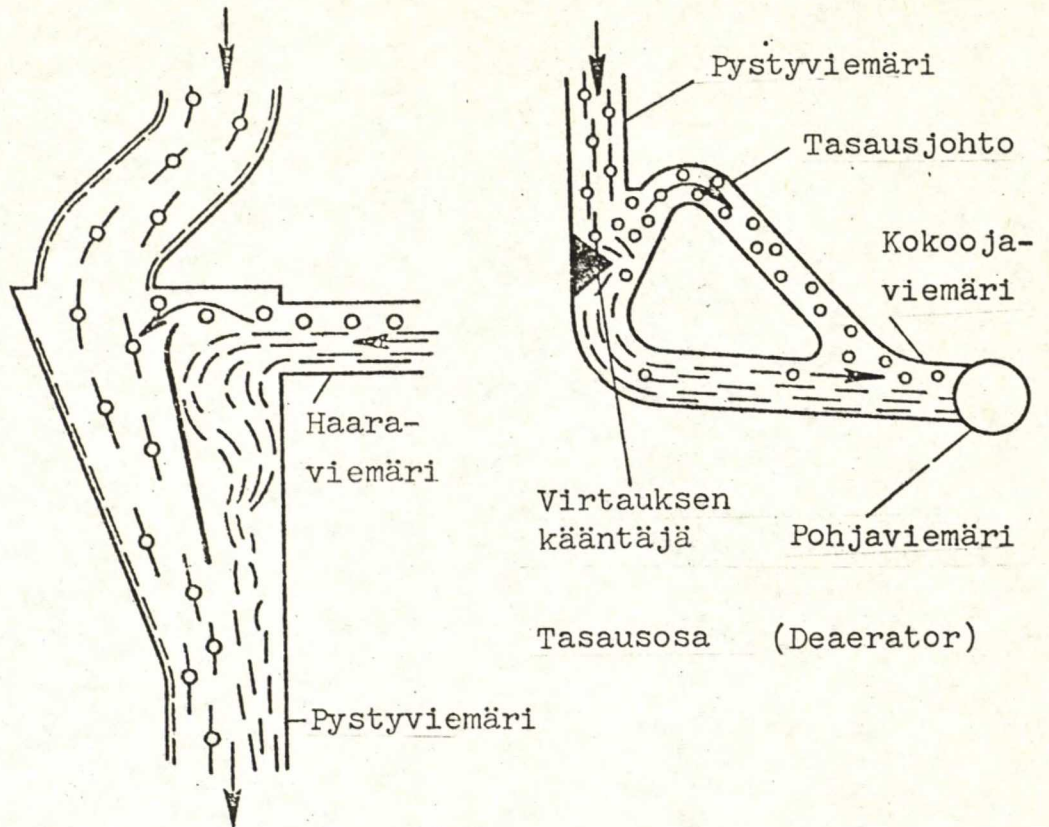
#### 4.313 SOVENT-viemäröintijärjestelmä

SOVENT<sup>1)</sup> -viemäröintijärjestelmä on kehitetty Sveitsissä, missä korkeiden rakennuksien viemäröinnissä oli havaittu ongelmia. Yhdysvaltalainen kaksiputkiviemäröinti oli liian kallis ja vei liikaa tilaa. Tavallisessa yksiputkijärjestelmässä (tuuletettu pystyviemäri) oli todettu toimintahäiriöitä vaikka pystyviemärit olisi ylimitoitettukin /67/. Fritz Sommer alkoi tutkia asiaa, ja 1960 luvun loppuun mennessä hän kehitti uudentyyppisen yksiputkisen viemäröintijärjestelmän, joka sai nimekseen SOVENT.

Järjestelmä perustuu lähinnä kahden uudentyyppisen viemäriosan toimintaan. Nämä osat ovat sekoitinosa (aerator) ja tasausosa (deaerator). Sekoitinosa on tuuletettuun pystyviemäriin asennettava kytkentäkappale, johon kunkin kerroksen haaraviemärit liitetään. Tasausosa asennetaan pystyviemäriin siihen kohtaan, missä se liittyy pohjaviemäriin tai sellaiseen kohtaan, missä pystyviemäri tekee vaakapoikkeaman. Kuvassa 29 on periaatepiirroksin esitetty mainitut osat sekä virtaukset niissä. Sekoitinosa rikkoo pystyviemäriin sisäpinnalla olevan läminäärin rajakerroksen ja sekoittaa pystyviemäriin olevan ja haaraviemäristä tulevan veden ja ilman niin, ettei tulppavirtausta pääse syntymään. Tasausosa toimii periaatteessa veden ja ilman jakajana, jolloin ilma kulkee tasausjohtoa myöten ja vesi jää tasausosan pohjalle.

1) U.S. Patents 3.287.885 ja 3.346.887





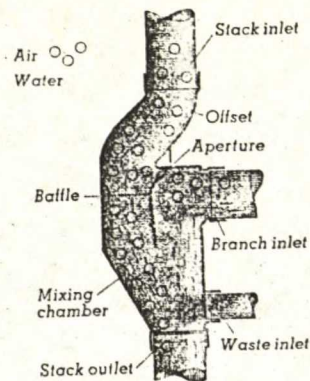
Sekoitinosa (Aerator)

- Vesi
- Ilma
- Vesi-ilmaseos

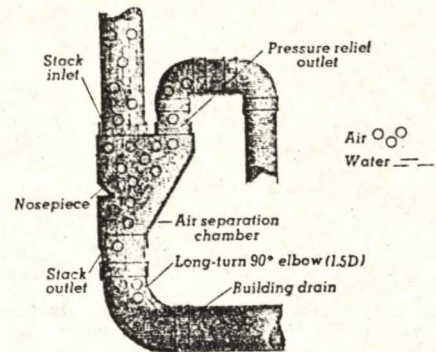
Kuva 29. SOVENT-järjestelmän sekoitin- ja tasausosat /67/

Tällöin ei pystyviemärin alapäähän pääse syntymään häiritsevää ylipainetta.

Yhdysvalloissa SOVENT-järjestelmän osat on valmistettu messinkivalusta ja pysty- ja haaraviemärinä käytetään kupari-putkia. Kuvassa 30 on esitetty sekoitus- ja tasausosan kuvat.



Sekoitinosa  
(Aerator)



Tasausosa  
(Deaerator)

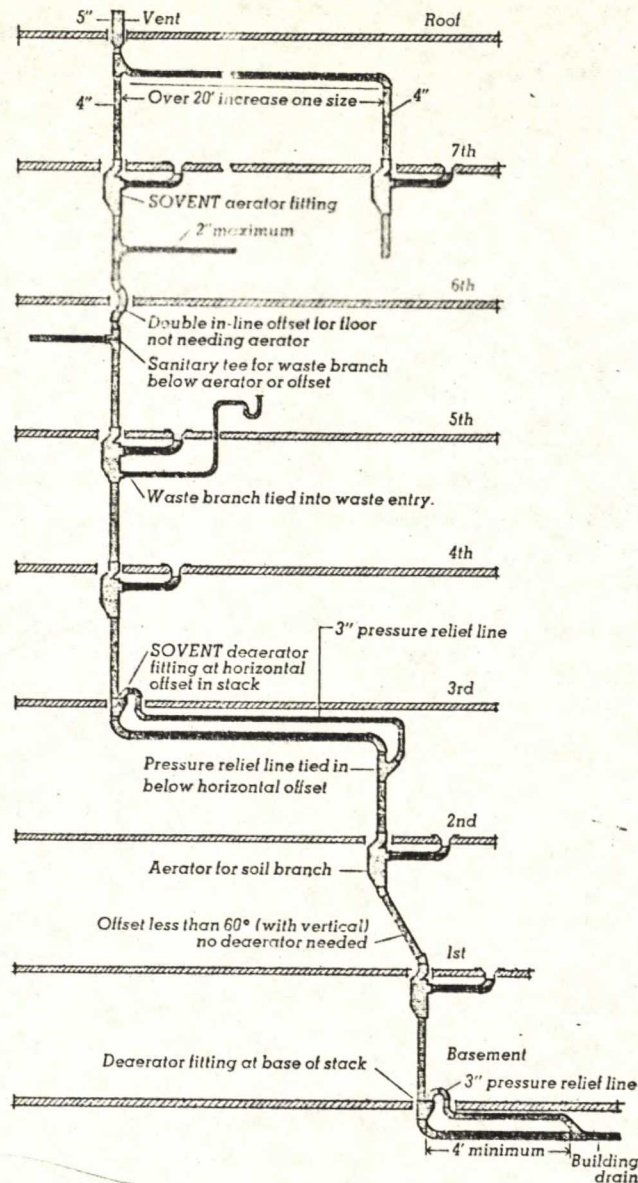
Kuva 30. Yhdysvalloissa käytetty SOVENT-järjestelmän tasaus- ja sekoitinosat /82/.

Yhdysvalloissa valmistetaan SOVENT-osia neljälle pystyviemärikoolle 3", 4", 5" ja 6" ja sekoitusosassa voi olla enintään viisi haaraviemärin liitoskohtaa, joista vain kaksi käy WC:n haaraviemärin liittämiseen. Tasausosia on neljä kappaletta vastaten kutakin pystyviemärikokoa. Näin muodostuu yhteensä 120 SOVENT-erikoisosaa /81/. Osat sopivat standardikupariputkiin ja -kupariputken osiin. Näin voidaan koko rakennuksen pysty- ja haaraviemärit tehdä standardiosia ja -putkia käyttäen.

Kuvassa 31 on esitetty tyypillinen SOVENT-pystylinja. Kuvasta havaitaan, että sekoitusosan käyttäminen ei ole välttämätöntä jos WC-laitetta ei liitetä tässä kerroksessa pystyviemäriin. Kuvasta 31 ilmenee myös, että kaksi pystyviemäriä voidaan liittää yhteiseen tuuletusviemäriin.

Ensimmäinen SOVENT-järjestelmän mukaan rakennettu talo valmistui 1961 Bern'issä. 1970-luvun alkuun mennessä oli Eurooppaan asennettu n. 200 SOVENT-järjestelmää. Amerikassa

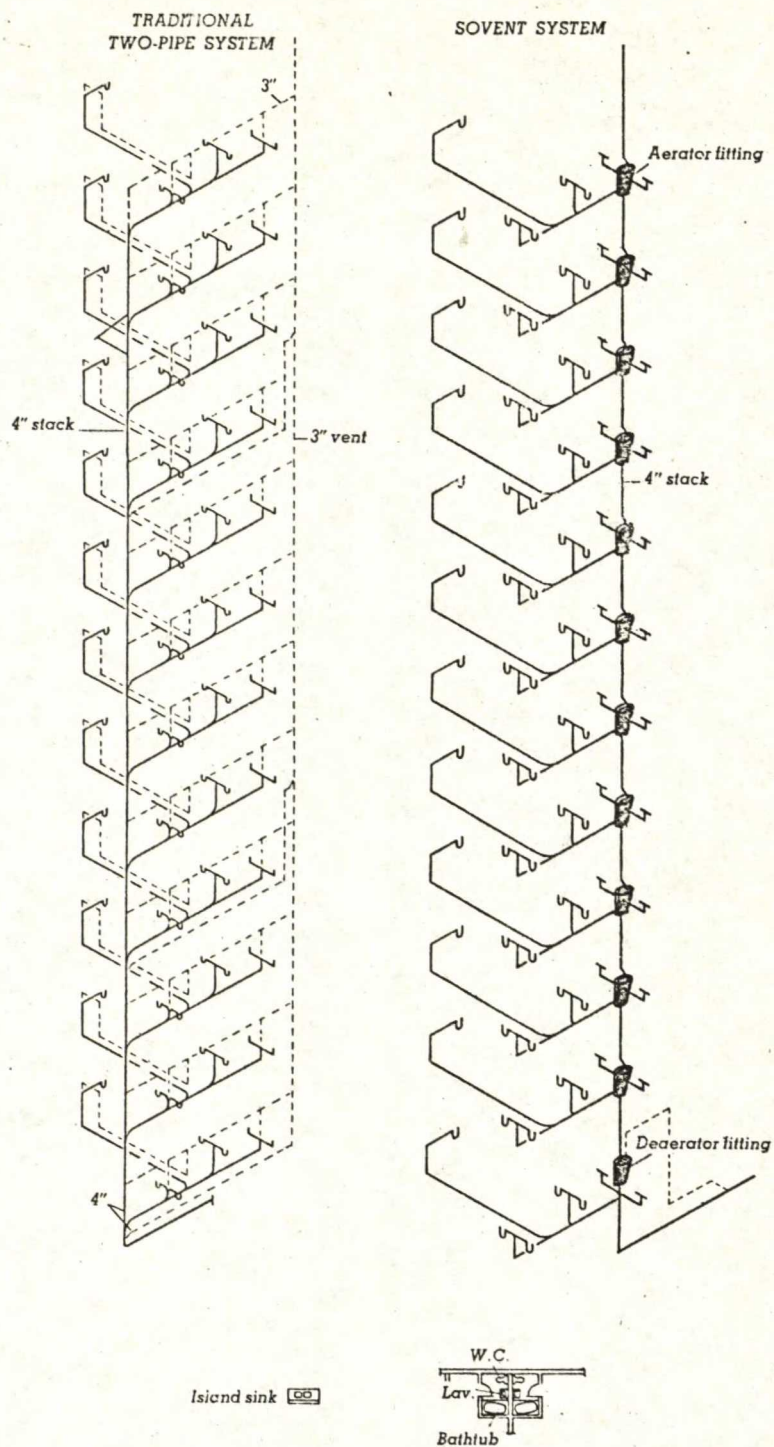




Kuva 31. SOVENT-pystylinja /82/.

ensimmäinen asennus tapahtui Montrealin maailmannäyttelyssä 1967. Nykyään lasketaan Yhdysvalloissa olevan yli 300 rakennusta, joissa on SOVENT-järjestelmä /79/, /80/. Tämä ei olekaan mikään ihme, kun katsotaan kuvaa 32, josta havaitaan, että putkien säästö SOVENT-järjestelmässä on huomattava.

Tarkemmat SOVENT-järjestelmän suunnitteluohjeet selviävät lähteistä /79/, /82/ ja /83/. Mainittakoon, että Yhdysvalloissa saa NS 100 (4") SOVENT-pystyviemäriin liittää n. 50-kerroksisen asuinrakennuksen normaalihuoneiston (Kh + K) viemäripisteet.



Kuva 32. 12-kerroksisen rakennuksen viemäröinti 2-putki-järjestelmällä ja SOVENT-järjestelmällä /82/.

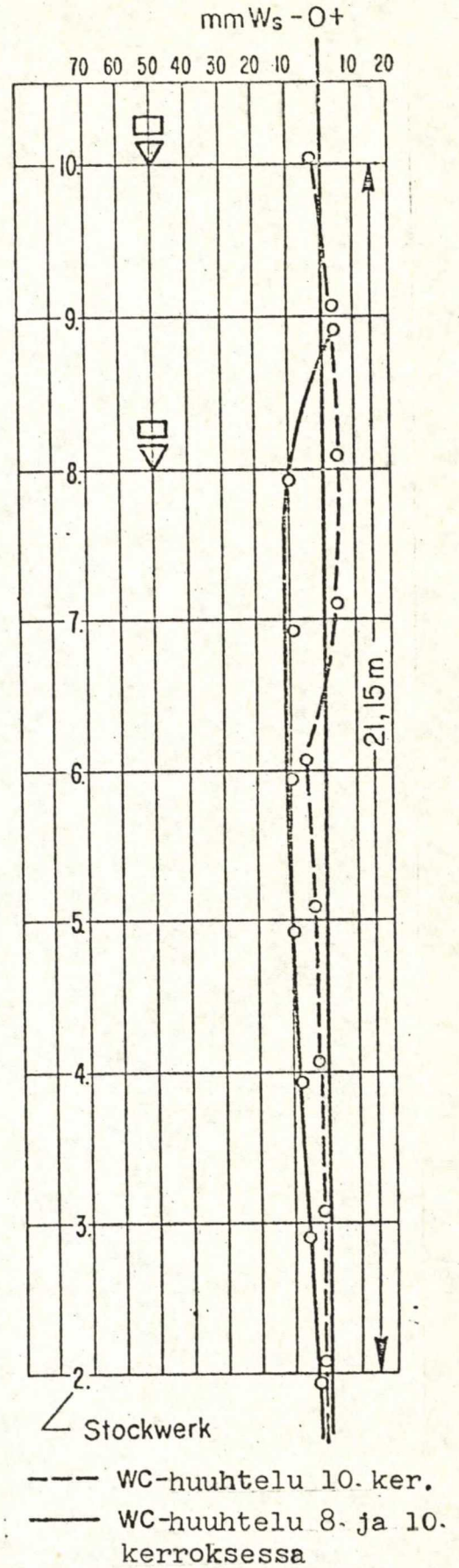
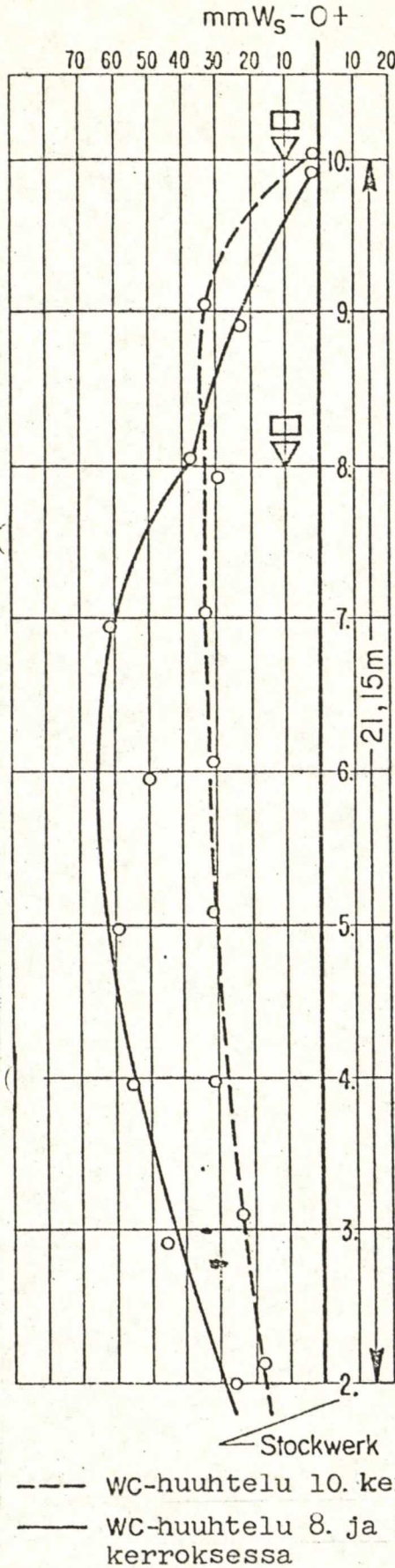


SOVENT-viemärijärjestelmän eduista verrattuna Yhdysvalloissa käytettyyn kaksiputkijärjestelmään on ilman muuta suurin viemäriputkien ja -osien huomattava säästö. Tilansäästö kerroksissa on myös huomattava, sillä toinen pystytuuletusviemäri jää pois, ja vaakatuuletusviemäreitä ei tarvita ollenkaan. Verrattaessa SOVENT-järjestelmää esim. Suomessa käytettyyn tuuletettuun pystyviemärijärjestelmään ei putkien ja osien säästö ole mainittava, mutta haaraviemäreiden kytkentäkappaleena käytetty sekoitusosa helpottaisi varmasti haaraviemäreiden kytkemistä pystyviemäriin. Varsinainen SOVENT-järjestelmän etu on siinä, että pystyviemärin alipaine on huomattavasti pienempi kuin suomalaisessa järjestelmässä. Tämä seikka ilmenee selvästi Sveitsissä suoritettua mittauksista. Kuvassa 33 on esitetty eräs mittaustulos. Siitä selviää, että SOVENT-järjestelmän NS 100 pystyviemäriin muodostuu vain n.  $130 \text{ N/m}^2$  alipaine, kun WC-laitteet on huuhdeltu samanaikaisesti 8. ja 10. kerroksessa, huuhteluvesimäärän ollessa yhteensä n.  $4,7 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Vastaavasti muodostuu NS 100 tavalliseen tuuletettuun pystyviemäriin n.  $650 \text{ N/m}^2$  alipaine, mikä esim. ylittää sveitsiläiset määräykset.

Yhdysvalloissa on testattu SOVENT-järjestelmää mm. nousujoh-tojen lämpöliikkeen, vesilukkojen tyhjentymisen ja viemärintukkeutumisen suhteen. Testit osoittivat, että SOVENT-järjestelmä toimii tasavertaisesti tai jopa paremmin kuin tavallinen amerikkalainen 2-putkijärjestelmä (katso kuva 32) /79/.

SOVENT-järjestelmä sopisi varmaankin hyvin meillä käytettäväksi korkeiden rakennusten viemärointijärjestelmäksi, mutta Suomen markkinoilla ei ainakaan vielä ole näkynyt merkkiäkään ko. järjestelmän olemassaolosta.





Kuva 33. Tavalliseen NS 100 pystyviemäriin (vas.) ja SOVENT-pystyviemäriin NS 100 (oik.) syntyvät alipaineet 10-kerroksisessa rakennuksessa. Yksi huuhtelu =  $2,35 \text{ dm}^3/\text{s}$ ,  $1 \text{ mmWs} \approx 10 \text{ N/m}^2$  /67/.





Kuva 34. SOVENT-sekoitusosan liittäminen NS 100 pystyviemäriin /80/.

#### 4.32 Sadevesiviemärit

##### 4.321 Sisäpuoliset sadevesiviemärit

Korkeiden rakennusten ollessa kyseessä, kiinnostaa sadevesiviemäreistä lähinnä rakennuksen sisällä sijaitsevat sadevesipystyviemärit, sillä pystyjohtojen tilantarve ja lukumäärä vaikuttaa rakennuksen koko suunnitteluun.

Myös sadevesiviemäreiden mitoitus tulee todennäköisesti muuttumaan nykyisestä käytännöstä. Uusien määräysten luonnoksessa /54/ lasketaan mitoituksen perustana oleva sadevesien virtaama kaavasta /54/

$$q = q_s \sum \beta A$$

(38)

missä

|               |  |
|---------------|--|
| $q$           | mitoitusvirtaama, $\text{dm}^3/\text{s}$                 |
| $q_s$         | mitoitussade, $\text{dm}^3/\text{sm}^2$                  |
| $\beta$       | valmiskerroin  |
| $\beta = 1$   | katot, asfaltti-, betoni- ja muut tiiviit<br>päällysteet |
| $\beta = 0,7$ | sorapäällysteet  |
| $\beta = 0,3$ | nurmikot ja muut päällystämättömät pinnat                |
| $A$           | pinta-ala, $\text{m}^2$                                  |

Mitoitussateen arvona on käytettävä  $q_s = 0,015 \text{ dm}^3/\text{sm}^2$ .  
Paikallisten viranomaisien luvalla voidaan käyttää muutakin  
mitoitussateen arvoa, kuitenkin niin, että  $q_s = 0,010 \dots$   
 $0,020 \text{ dm}^3/\text{sm}^2$ .

Kaava 38 on samantapainen minkä RVV-kirja /53/ antaa. Käytetyt valumiskertoimien arvot ovat samoja. Poikkeuksen muodostaa mitoitussade, sillä RVV-kirja antaa mitoitussateen arvoksi  $0,020 \text{ dm}^3/\text{sm}^2$ . Tämä on 33 % suurempi kuin uusien määräysten antama. Näinollen tulevat todennäköisesti myös sadevesien mitoituksen perustana käytetty virtaama pienenevän.

RVV-kirjan /53/ mukaan on sisäpuoliset sadevesipystyviemärit mitoitettava taulukon 20 mukaan.

Taulukko 20. Sisäpuolisten sadevesipystyviemärien mitoit-  
tus RVV-kirjan mukaan /53/

| Kattopinta-ala | Viemärin nimellissuuruus |
|----------------|--------------------------|
| $\text{m}^2$   | NS                       |
| 50             | 70                       |
| 50...250       | 100                      |
| 250...350      | 125                      |
| 350...500      | 150                      |



Uusien määräysten mukaisesti /54/ myöskin pystyviemäreiden mitoitus suoritetaan painehäviölaskelmiin perustuvan nomogrammin mukaan. Käyttäen mitoitusadetta  $q_s = 0,015 \text{ dm}^3/\text{sm}^2$  saadaan nomogrammista /54/ erikokoisten pystyviemäreiden suurimmiksi vesitettäviksi kattopinnoiksi seuraavat pinta-alat

|        |                         |
|--------|-------------------------|
| NS 70  | A = 260 m <sup>2</sup>  |
| NS 100 | A = 670 m <sup>2</sup>  |
| NS 150 | A = 2000 m <sup>2</sup> |

Nämä ovat huomattavasti suurempia kuin pelkkä mitoitusateen arvon pieneneminen olisi antanut odottaa. Verrattaessa NS 100 sadevesipystyviemärillä viemäröitävissä olevia suurimpia kattopinta-aloja, havaitaan uusien määräysten /54/ antavan mahdollisuuden viemäröidä n. 2,7 kertaisen kattopinta-alan sadevedet verrattuna RVV-kirjaan /53/.

Edellisen perusteella voidaan otaksua, että tulevaisuudessa sadevesipystyviemäreiden lukumäärää rakennuksessa voidaan pienentää, ja käytettyjen sadevesipystyviemäreiden halkaisijat pienenevät. Tällä seikalla on vaikutusta rakennusten sadevesiviemäröinnin kustannuksiin, sillä tarvitaanhan tulevaisuudessa vähemmän pystyjohtoja, jotka voivat olla jopa halvempia kuin nykyisin käytettävät.

#### 4.3211 UV-sadevesijärjestelmä

UV-järjestelmä on tehty sadevesien poistamiseksi katoilta ja saanut nimensä lyhennyksenä umpivirtauksesta, sillä oikein mitoitettuna on sadevesijohto mitoitusarvolla täynnä vettä, jolloin täyttökerroin  $f = 1$ . Uusien määräysten luonnoksessa /54/ esitetty sadevesien mitoitusdiagrammi perustuu Wylie-Eaton'in kaavan 35 ja täyttökertoimeen  $f = 0,3$ . Kaavasta



(37)havaitaan, että UV-järjestelmän samansuuruisessa sadevesijohdossa voi kulkea n. 7 kertainen vesimäärä. Tästä johtuen UV-järjestelmän sadevesiviemärit tulevat halkaisijoitaan pienemmiksi kuin käytettäessä tavallista järjestelmää. Tämä luonnollisestikin alentaa sadevesiviemäriputkiston hintaa pystyjohtojen osalta.

UV-järjestelmä perustuu lähinnä uudentyyppisen kattokaivon ominaisuuksiin. UV-kattokaivon tärkein uusi ominaisuus on se, että UV-kaivon kertavastus on riittävän pieni, yleensä vain 2...10 % sadevesijohdon kokonaisvastuksesta. Lähempiä tietoja UV-kaivosta, ja sillä suoritettujen kokeiden mittaus-tuloksista on esitetty lähteessä /84/. UV-kaivoja valmiste-taan vain kahta kokoa NS 50 ja NS 80. Nimelliskoot ilmaisevat suurimman kaivoon esitettävissä olevan sadevesijohdon suuruuden.

UV-sadevesijärjestelmän mitoitus tapahtuu käyttämällä esim. lähteessä /84/ esitettyä mitoitusnomogrammia. Viranomaiset vaativat yleensä mitoituslaskelmat liitettäväksi tarkastet-tavaksi lähetettyihin piirustuksiin.

Yhteen UV-kaivoon NS 50 liitettävällä NS 50 suuruisella suo-ralla sadevesiviemärillä voidaan hoitaa 10-kerroksisessa ra-kennuksessa n. 530 m<sup>2</sup> suuruinen kattopinta. Käytettäessä uusien määräysten luonnoksen /54/ mukaista mitoitusta tarvit-tavan sadevesipystyviemärin koko olisi NS 100. RVV-kirjan /53/ mukaisella mitoituksella ei edes yksi kappale NS 150 sadevesipystyviemäriä riittäisi hoitamaan 530 m<sup>2</sup> katon sade-vesiviemäröintiä. Vastaavanlainen tarkastelu UV-kaivon NS 80 osalta osoittaa, että yhdellä NS 80 sadevesijohdolla voidaan hoitaa n. 2400 m<sup>2</sup> kattopinta. Uusien määräysten luonnoksen /54/ perusteella tarvittaisiin kaksi johtoa NS 150 ja NS 100. RVV-kirjan /53/ mukaan tarvittaisiin 5 kpl NS 150 sadevesi-viemäriä.



Jos mitoituslähtökohdaksi otetaan uusien määräysten luonnoksen /54/ sallima enimmäiskattopinta-ala, joka voidaan viemäröidä NS 70 sadevesiviemärillä ( $260 \text{ m}^2$ ) havaitaan, että UV-järjestelmää käytettäessä 10-kerroksisessa rakennuksessa riittäisi esim. 42/39 suuruinen kupariputki. Vastaava vertailu sadevesiviemärin NS 100 ( $670 \text{ m}^2$ ) osalta antaa UV-järjestelmän johdon suuruudeksi 54/51. Tarkastelussa on oletettu UV-johdon kulkevan suoraan alas tekemättä vaakapoikkeamia.

UV-järjestelmää suunniteltaessa on hyvä piirtää johdon todellinen painekorkeuden käyrä (malli on esitetty mm. lähteessä /84/), ja tarkastaa, ettei paine missään kohdassa ole alle veden höyrystymispaineen. Jos veden paine alittaa höyrystymispaineen, johdossa oleva vesi höyrystyy ja vesipatsas katkeaa eikä johto toimi suunnitellulla tavalla. Alipaineen suuruuteen vaikuttaa UV-kaivon, ja sen läheisyydessä olevat sadevesijohdon kertavastukset. Jos hankausvastukset johdossa jäävät alle arvon  $10 \text{ kN/m}^2$  metriä kohden edellämainitut kertavastukset määräävät syntyvän alipaineen maksimiarvon. Todettakoon, että UV-mitoitusnomogrammi /84/ on rajattu vastusarvoon  $10 \text{ kN/m}^2 \text{ m}$ . UV-järjestelmän johdoissa virtausnopeus on suhteellisen suuri mitoitus sadevesimäärillä. Maksimiarvoksi voidaan ottaa  $6 \text{ m/s}$  /84/. Tällöin johdossa vallitseva dynaaminen paine voidaan laskea kaavasta

$$p_{\text{dyn}} = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (39)$$

|                  |                                  |
|------------------|----------------------------------|
| $p_{\text{dyn}}$ | dynaaminen paine, $\text{N/m}^2$ |
| $\rho$           | veden tiheys, $\text{kg/m}^3$    |
| $v$              | virtausnopeus, $\text{m/s}$      |

UV-kaivon kertavastuksen painehäviö voidaan laskea kaavasta

$$\Delta p = \zeta p_{\text{dyn}} \quad (40)$$

missä

$\zeta$  UV-kaivon kertavastusluku

$$\zeta \approx 0,7 / 84$$

$p_{\text{dyn}}$  dynaaminen paine (kaava 39),  $\text{N/m}^2$

UV-pystyjohdon alussa - kaivon kohdalla - syntyvä alipaineen suuruus on kaavojen (39) ja (40) esittämien paineiden summa. Sijoittamalla kaavoihin (39) ja (40)  $+15^\circ\text{C}$  veden arvot saadaan johdossa vallitsevaksi alipaineeksi n.  $30,5 \text{ kN/m}^2$ . Ellei kaivon läheisyydessä johtoa eteenpäin mentäessä ole mutkia tai muita kertavastuksia hankausvastukset pienentävät lineaarisesti tätä alipainetta. Tämä pitää paikkansa jos johdon hankausvastuksen arvo metriä kohden on pienempi kuin staattisen paineen lasku metriä kohden, mikä on n.  $100 \text{ kN/m}^2\text{m}$ . Kuljettaessa johtoa eteenpäin muuttuu alipaine useimmissa tapauksissa ylipaineeksi, mikä ei höyrystymistä ajatellen ole vaarallista.

Sadeveden lämpötilana voidaan pitää  $+15^\circ\text{C}$ , jolloin veden höyrystymispaine on n.  $1,8 \text{ kN/m}^2$ . Johdossa vallitseva paine ei siis saisi laskea alle tämän arvon. Edellä jo todettiin, että UV-kaivon jälkeen oli alipaineen suuruus  $30,5 \text{ kN/m}^2$ . Vaaralliseen höyrystymispaineeseen arvoon on vielä varaa  $99,5 \text{ kN/m}^2 - 30,5 \text{ kN/m}^2 = 69,0 \text{ kN/m}^2$  ( $99,5 \text{ kN/m}^2 = 101,3 \text{ kN/m}^2 - 1,8 \text{ kN/m}^2$ ,  $101,3 \text{ kN/m}^2$  on normaalisti vallitseva ilmanpaine). Tämä  $69,0 \text{ kN/m}^2$  paine voidaan siis vielä käyttää mutkien yms. muotovastuksien voittamiseen välittömästi UV-kaivon jälkeen. Esimerkiksi käyrän, jonka taivutussäteen



suhde putken säteeseen on 2, kertavastusluku  $\zeta = 0,3$  /84/. Kertavastuksiin kuluva paine voidaan laskea kaavasta (40). UV-järjestelmän maksimivirtausnopeudella  $v = 6$  m/s saadaan yhden käyrän painehäviöksi  $5,4 \text{ kN/m}^2$ . Tämä siis merkitsee sitä, että välittömästi kaivon jälkeen johdossa voisi olla 12 kpl  $90^\circ$  kulmia, vastaten kuutta suunnanmuutosta. Tällainen tilanne tulee harvoin kysymykseen todellisia sadevesipystyviemäreitä suunniteltaessa.

UV-järjestelmän sadevesiviemäreinä voidaan käyttää esim. kupari- ja PVC- tai PEH-putkia. Kuten jo likavesiviemäreiden yhteydessä todettiin muoviputkia ei palomääräysten mukaan tulisi käyttää yli 10-kerroksisissa rakennuksissa. Korkeiden rakennusten UV-sadevesiviemäeriputkiksi sopivat siis hyvin kupariputket. Kupariputkilla on todettu olevan suuri eroosiokorroosion vaara ja veden virtausnopeus putkessa tulee suureksi. Uusien määräysten luonnoksessa /54/ on kylmän käyttöveden kuparijohdon suurimmaksi virtausnopeudeksi sallittu  $4,0 \text{ m/s}$ , jos johto on ns. vaihdettavissa oleva. UV-järjestelmässä saattaa mitoitusasteella johdoissa olla virtausnopeus  $6 \text{ m/s}$ , mutta koska mitoitusasteiden esiintymistiheys on verraten vähäinen ei eroosiolla ole minkäänlaista merkitystä putken kestävyyttä ajatellen /84/.

UV-sadevesiviemärijärjestelmää käytettäessä tullaan toimeen lukumäärältään vähäisemmillä pystyviemäreillä ja näiden pystyviemäreiden halkaisijat ovat pienempiä kuin käytettäessä uusien määräysten luonnoksessa /54/ esitettyä mitoitusastetta. RVV-kirjan /53/ mitoitusohjeella laskettu sadevesipystyviemäriverkostoon verrattuna tulee UV-verkosto huomattavasti kevyemmäksi ja harvalukuisemmaksi.



#### 4.4 Yhteenveto

Korkeiden rakennusten vesi- ja viemärilaitteistojen suunnittelussa on otettava huomioon seikkoja, jotka eivät tule niin selvästi esiin matalampien rakennusten ollessa kyseessä.

Käyttövesilaitteita suunniteltaessa korkeisiin rakennuksiin ei yleisessä vesijohdossa vallitseva paine useinkaan riitä ylimpiin vedenkulutuspisteisiin. Tällöin on vesijohtopainetta lisättävä. Vesijohtopaineen lisääminen voi tuoda mukanaan uusia ongelmia. Paineennostolaitteisto voi aiheuttaa häiritsevää melua lisäämällä alimpien kerrosten vesijohtokalusteiden melua, ja onhan paineenkorotuslaitteistossa itsessäänkin mukana suuri melunaiheuttaja nimittäin paineenkorotuspumppu. Vesijohtokalusteiden virtauspaineen on pysyttävä määrättyissä rajoissa, joten LVI-suunnittelijan on ratkaistava jakaako hän verkoston pystysuunnassa osiin vai käyttääkö hän paineenalennusventtiilejä.

Korkeissa likavesiviemäreiden pystyviemäreissä saattaa syntyä niin suuri alipaine, että pystyviemäriin liittyvien haaraviemäreiden vesilukot voivat tyhjentyä, ja tällöin viemärikäasut tunkeutuvat huonetiloihin. Korkeiden rakennusten viemärintä on yritetty ratkaista esim. lisäämällä ylimääräinen tuuletusviemäri, joka on määrätyn välein kytketty itse pystyviemäriin. Tällainen viemäri linja on tietenkin kalliimpi kuin käytettäessä vain yhtä pystynousua. Sveitsissä on kehitetty erityinen SOVENT-viemärijärjestelmä, joka sopii nimenomaan korkeisiin rakennuksiin. SOVENT-järjestelmä on periaatteessa normaali yksiputkinen järjestelmä, jossa käytetään kahta erityistä viemärijärjestelmään kuuluvaa osaa, joista toinen hajoittaa putkessa kulkevan tulppavirtauksen kunkin kerroksen kohdalla vesi-ilmaseokseksi ja toinen taas kokoaa linjan alapäässä vesi-ilmaseoksen vaakaviemäriin vallitsevaksi normaalitilanteeksi (vesi pohjalla ja ilma putken yläosassa). Suomessa ei ole vielä käytetty SOVENT-järjestelmää.



Sisäpuolisessa sadevesiviemäröinnissä on UV-järjestelmä erittäin sopiva korkeiden rakennusten kattosadevesien viemäröintiin, sillä UV-järjestelmän sadevesipystyviemärit tulevat pienemmiksi ja harvalukuisemmiksi kuin muissa sadevesiviemäröintijärjestelmissä.

## 5 ILMANVAIHTO

### 5.1 Yleistä

Korkeat rakennukset koostuvat lähinnä asuinkerrostaloista, liike-, toimisto- ja julkisista rakennuksista. Viimeksimainituissa rakennustyypeissa käytetään nykyään ilmanvaihtotekniikkaa, jota voidaan kutsua ilmastoinniksi. Valtaosa nykyään Suomessa rakennettavista asuinkerrostaloista varustetaan koneellisella poistotuuletuksella, joten asuinrakennusten osalta on kysymys lähinnä ilmanvaihdosta. Seuraavassa käytetään sekä ilmastoinnista että ilmanvaihdosta nimitystä ilmanvaihto.

Korkeiden rakennusten ilmastointitekniset ongelmat aiheuttaa itse rakennuksen luonne - korkeus -sekä ulkoiset sääolosuhteet. Näihin asioihin ei LVI-suunnittelija yleensä voi vaikuttaa, vaan hänen on vain pyrittävä minimoimaan korkeuden eittämättä mukanaantuomat haitat.

### 5.2 Termisten voimien ja tuulen aiheuttamat häiriöt

Kuten jo lämmöntarvelaskennan yhteydessä kävi ilmi rakennukseen muodostuvat painesuhteet määräävät ilman liikkumisen koko rakennuksessa ja sen osissa. Rakennuksen painesuhteet syntyvät tuulen aiheuttamasta paineesta, termisten voimien aikaansaamasta paineesta eli savupiippuvaikutuksesta ja ilmanvaihtolaitteiden aiheuttamasta paineesta.

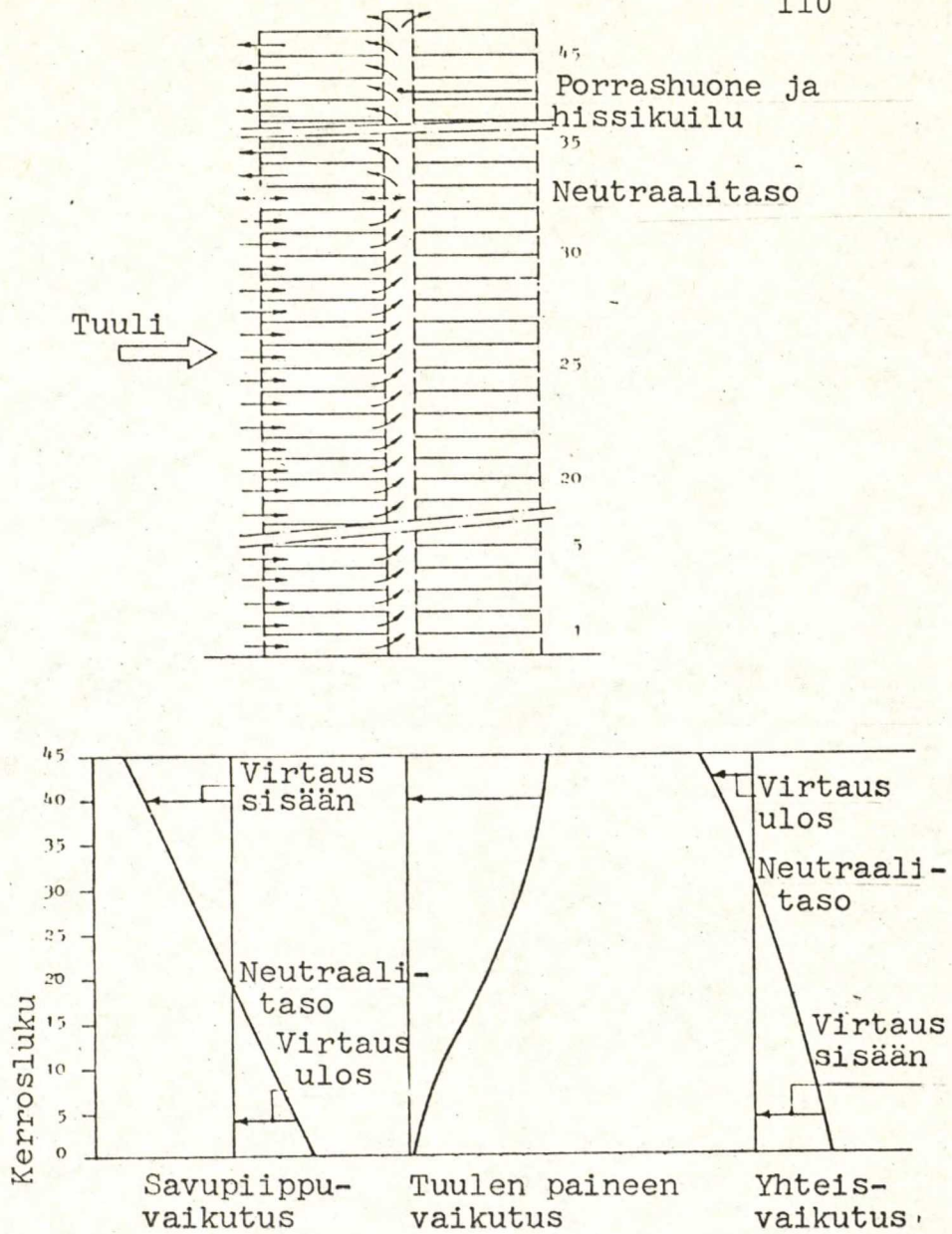
Rakennusten tarkka painesuhteiden määrittäminen on työlästä ja vaikeaa, mutta normaalisti onkin riittävää selvittää kuinka suuriksi rakennuksen paine-erot voivat muodostua, ja mitä reittejä näiden paine-erojen kuljettama ilma voi siirtyä.



Korkeiden rakennusten painejakautuman muodostumisessa on tuulella ja termisillä voimilla ratkaiseva merkitys. Tuulen nopeuksia eri ulkolämpötiloilla ja tuulen aikaansaamaa dynaamista painetta käsiteltiin jo lämmöntarvelaskennan yhteydessä. Samoin on termistä voimaa eli savupiippuvaikutusta ja sen suuruutta käsitelty jo lämmöntarvelaskennan yhteydessä. Kuvassa 35 on kertauksen vuoksi esitetty minkälaiseksi voi 45-kerroksisen talon painesuhteet ja niiden aikaansaamat virtaukset muodostua.

Suomessa voi tuulen ja termisten voimien aikaansaama paine muodostua huomattavan suureksi. Ulkolämpötilan ollessa  $-20^{\circ}\text{C}$  10-kerroksisessa rakennuksessa voi savupiippuvaikutuksen aikaansaama paine olla  $n. 50 \text{ N/m}^2$  (kuva 10). Samalla ulkolämpötilalla voi tuulen nopeus olla  $n. 8 \text{ m/s}$  (taulukot 4 ja 5). Tämä aiheuttaa  $n. 45 \text{ N/m}^2$  tuulen dynaamisen paineen. Pahimassa tapauksessa voi siis 10-kerroksiseen rakennukseen vaikuttaa paine-ero, joka on  $n. 95 \text{ N/m}^2$ . Mittauksin on todettu, että jo  $10 \text{ N/m}^2$  paine-erot ulkoilman ja sisätilan välillä voivat aikaansaada prosentuaalisesti hyvinkin suuria vuotoilmavirtoja /85/, /86/. Näinollen tuulen dynaaminen paine ja etenkin savupiippuvaikutus aikaansaavat suuriakin häiriöitä korkeiden rakennusten ilmanvaihdossa.

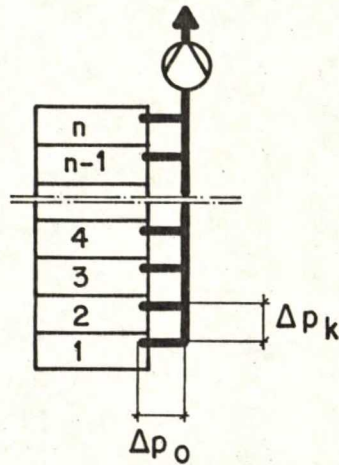
Saadaksemme paremman käsityksen termisten voimien aikaansaaman häiriön suuruudesta tutkitaan kuvan 36 kaltaisen ilmanvaihtolaitoksen ilmamäärien muutoksia. Kuvan 36 kaltainen järjestelmä edustaa hyvin asuinkerrostalon yhteiskanavapois-totuuletusjärjestelmää, jossa jokaisesta kerroksesta lyhyen kanavahaaran ja poistuventtiilin kautta poistetaan ilma yhteiseen pystysuoraan nousukanavaan.



Kuva 35. 45-kerroksisen rakennuksen painesuhteet ja niiden aiheuttamat ilmavirtaukset /15/.



Saadaksemme paremman käsityksen termisten voimien aikaansaaman häiriön suuruudesta tutkitaan kuvan 36 kaltaisen ilmanvaihtolaitoksen ilmamäärien muutoksia. Kuvan 36 kaltainen järjestelmä edustaa hyvin asuinkerrostalon yhteiskanavapoistotuuletusjärjestelmää, jossa jokaisesta kerroksesta lyhyen kanavahaaran ja poistoventtiilin kautta poistetaan ilma yhteiseen pystysuoraan nousukanavaan.



Kuva 36. Asuinkerrostalon poistojärjestelmä

Termisten voimien aikaansaamalle alimman ja ylimmän kerroksen ilmamäärien muutokselle pätee /85/

$$\frac{\dot{V}_t}{\dot{V}} = \frac{1 + n\delta + \frac{n\Delta p_s}{\Delta p_o}}{1 + n\delta} \quad (41)$$

$$\delta = \frac{\Delta p_k}{\Delta p_o} \quad (42)$$

|              |  |
|--------------|--|
| $\dot{V}_t$  | ilmamäärä alimmassa kerroksessa, $\text{dm}^3/\text{s}$              |
| $\dot{V}$    | ilmamäärä ylimmässä kerroksessa, $\text{dm}^3/\text{s}$              |
| $n$          | kerrosten lukumäärä  |
| $\delta$     | pääkanavan osan ja haarakanavan painehäviöiden suhde (katso kuva 35) |
| $\Delta p_s$ | savupiippuvaikutus, $\text{N/m}^2$ (katso kaava 21)                  |
| $\Delta p_k$ | pääkanavan osan painehäviö, $\text{N/m}^2$                           |
| $\Delta p_o$ | haarakanavan painehäviö, $\text{N/m}^2$                              |

Kaavassa (41) on käytettävä negatiivista merkkiä virtauksen suuntautuessa alaspäin.

Taulukkoon 21 on laskettu suhde  $\dot{V}_t/\dot{V}$  erikorkuisissa rakennuksissa. Ulkoilman lämpötiloina on käytetty  $-20^\circ\text{C}$ , joka on lähellä lämmöntarvelaskuissa käytettyä mitoitusulkolämpötilaa ja  $-5^\circ\text{C}$ , mikä on likimain pakkaskauden keskiulko- lämpötila Helsingissä.

Pystykanavan yhden kerroksen osan (kerroksen korkeus 2,8 m) vastuksen arvona on käytetty arvoa  $4 \text{ N/m}^2$ , mikä perustuu pyöreiden peltikanavien keskimääräiseen kitkahäviöön yleisesti suunnittelussa käytetyillä ilman nopeuksilla. Haarakanavan painehäviöksi on otettu pelkästään yhteiskanavaventtiilin vastus. Vastuksen  $\Delta p_o$  arvona on käytetty  $200 \text{ N/m}^2$ , mikä on lähellä maksimi-arvoa mihin venttiilivalmistajien tuotteilla päästään ottamalla huomioon äänivaatimukset. Savupiippuvai-  
kutuksen suuruus saadaan kätevimmin kuvasta 10.



Taulukko 21. Termisten voimien aikaansaama alimman- ja ylimmän kerroksen ilmamäärien prosentuaalinen muutos yhteiskanavapoistojärjestelmässä.

| Kerros-<br>luku | Ulkoilman lämpötila   |                       |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|
|                 | -20°C                 | -5°C                  |
|                 | $\dot{V}_t / \dot{V}$ | $\dot{V}_t / \dot{V}$ |
|                 | %                     | %                     |
| 5               | + 6                   | + 4                   |
| 10              | +11                   | + 7                   |
| 15              | +15                   | + 9                   |
| 20              | +18                   | +11                   |

Taulukosta 21 havaitaan ilmamäärien vaihtelevan huomattavasti. Jos sallitun ilmamäärän muutoksena pidetään +10 %, havaitaan, että n. 10-kerroksinen talo on korkein mihin nykyistä yhteiskanavajärjestelmää voidaan ilman erityisiä toimenpiteitä käyttää.

Termisten voimien aikaansaaman häiriön suuruus riippuu oleellisesti pääkanavan ja haarakanavien painehäviöiden suhteesta. Kanaviston stabiliteetti kasvaa n. 1,5 kertaiseksi tämän suhteen kaksinkertaistuessa /85/. Tyydyttävän stabiliteetin painehäviöstä riippuen olisi venttiileillä oltava seuraavat painehäviöt /85/, /87/.

| Kerros-luku | Painehäviö $N/m^2$ |
|-------------|--------------------|
| 3...4       | 50                 |
| 5           | 90...100           |
| 6           | 110...120          |
| 8           | 140...160          |
| 10          | 170...200          |

Erään valmistajan tuote-esitteiden mukaan voidaan yhteiskanavaventtiilillä ko. ilmamäärillä päästä n.  $250 \text{ N/m}^2$  painehäviöön ylittämättä sallittuja äänitasoja. Edellä olevasta taulukosta ekstrapoloimalla voitaisiin vielä 13-14 kerroksinenkin rakennus hoitaa nykyisillä yhteiskanvapoistventtiileillä, ilman erityisiä toimenpiteitä.

Termisten voimien aiheuttamia häiriöitä sisäänpuhalluksessa voidaan myös tarkastella kaavan (41) avulla. Taulukkoon 22 on laskettu sisäänpuhalluksessa syntyvät ilmavirtojen muutokset. Nyt on oletettu tuloilmapuhaltimen olevan rakennuksen katolla ja poistoilmapuhaltimen rakennuksen alimmassa kerroksessa. Muuten on käytetty samoja oletuksia kuin tarkasteltaessa yhteiskanvapoistoa, mutta nyt on haarakanavan painehäviössä  $\Delta p_0$  arvona käytetty sisäänpuhalluselimen painehäviötä  $30 \text{ N/m}^2$ , mikä vastaa yleisesti käytettyjen matalapainesisäänpuhalluselinten painehäviötä.

Taulukko 22. Termisten voimien aikaansaama alimman- ja ylimmän kerroksen tuloilmamäärien prosentuaalinen muutos, kun tuloilmapuhallin on katolla ja poistopuhallin alimmassa kerroksessa.

| Kerros-<br>luku | Ulkoilman lämpötila   |                       |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|
|                 | $-20^{\circ}\text{C}$ | $-5^{\circ}\text{C}$  |
|                 | $\dot{V}_t / \dot{V}$ | $\dot{V}_t / \dot{V}$ |
|                 | %                     | %                     |
| 5               | -32                   | -18                   |
| 10              | -37                   | -27                   |
| 15              | -68                   | -33                   |
| 20              | -87                   | -37                   |



Taulukosta 22 havaitaan ilmamäärien muuttuvan huomattavasti. Suurin syy tähän on tavallisen sisäänpuhalluselimien pieni painehäviö. Myös sisäänpuhalluselinten valinnassa olisi elinten painehäviöiden täytettävä poiston yhteydessä esitetyn taulukon vaatimukset. Tämä ei ilman erikoistoimenpiteitä useinkaan onnistu, sillä tavallisten sisäänpuhalluselinten painehäviöiden noustessa myös niiden äänitaso kasvaa yli sallittujen rajojen.

Edellä esitetty tarkastelu perustui kaavaan (41) joka vastaa hyvin tarkempien arviointimenetelmien /13/ antamia tuloksia, ja kaava (41) antaa näinollen hyvän kuvan termisten voimien aikaansaamien häiriöiden suuruusluokasta.

Termiset voimat ja tuulen dynaaminen paine aiheuttavat rakennukseen suuriakin paine-eroja. Nämä paine-erot voivat itsessäänkin aiheuttaa ongelmia korkeissa rakennuksissa, mutta näiden paine-erojen aiheuttamat ei toivotut- ja kontrolloimattomat ilmavirtaukset saattavat muodostaa vakaviakin ongelmia korkeissa rakennuksissa.

#### 5.21 Ilmavirtausten aiheuttamat ongelmat

Ilma saattaa termisten voimien ja tuulen aiheuttaman paineen vaikutuksesta virrata sisään tai ulos ulkoseinissä, ikkunoissa, ulko-ovissa, sisäänkäynneissä ja porrashuoneissa. Se voi virrata huoneistoista hissikuiluihin tai porrashuoneeseen ovien kautta tai päinvastoin. Ilmanvaihtokonehuoneeseen voi tulla ilmaa hissikuilujen ja nousuhormien kautta esim. kaapelilävistysreikien tms. kautta. Seuraavassa on luettelonomaisesti esitetty haittoja ja ongelmia, joita ilmavirtaukset voivat aiheuttaa.

- vuotoilmavirtaukset ovat eri suuria rakennuksen eri osissa, joten eri huoneistojen vuotoilman lämmitystarve voi poiketa lasketusta arvosta huomattavasti
- epämiellyttävää vetoa ja jopa tuulenpuuskia saattaa esiintyä ovien ja hissien läheisyydessä
- ylimmissä kerroksissa ulosvirtaava ilma voi aiheuttaa vakavia kosteusvaurioita tai jäänmuodostumista ikkunoihin /86/
- tulipalon syttyessä rakennuksen alaosissa, kuljettavat ilmavirtaukset porrashuoneita ja hissikuiluja pitkin savukaasuja ylempiin kerroksiin. Korkeiden rakennusten paloturvallisuudesta on liitteeseen 2. kerätty lehtiartikkeliluettelu, josta löytyy myös ylläkuvattua ongelmaa käsitteleviä artikkeleita.

## 5.22 Paine-erojen aiheuttamat ongelmat

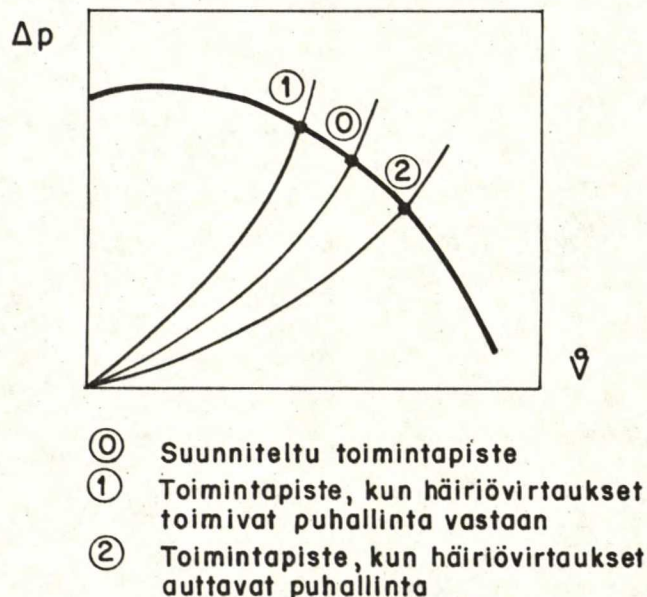
Tässä tarkoitetaan termisten voimien ja tuulen aiheuttamilla ongelmilla itse paineen suoranaisestä vaikutuksesta syntyviä haittoja.

- ikkunoihin, oviin ja väliseiniin saattaa syntyä niinkin suuria paine-eroja, että ne voivat ylittää konsktriolaskelmissa käytetyt arvot /15/
- ovia voi olla vaikea tai jopa mahdotonta aukaista käsivoimin. Mittaukset ovat osoittaneet, että tavallisen oven (n.  $2 \text{ m}^2$ ) avaamiseen tarvittava voima on n. 50 N suurempi kuin puolet koko oveen vaikuttavasta paineesta. Koska normaalin oven tarvittava aukaisuvoima, minkä normaalihenkilön katsotaan aikaansaavan on n. 200 N, merkitsee yli  $150 \text{ N/m}^2$  paine-ero ovessa aukaisemisvaikeuksia /15/. Kuten



lämmöntarvelaskennan yhteydessä jo todettiin voi talvella n. 25-kerroksisen talon ylimmän kerroksen asukkaalla olla vaikeuksia poistua huoneistostaan porrashuoneeseen liittyvän ulko-oven kautta.

- hissien ovet saattavat jäädä paine-eron vaikutuksesta kiinni asentoon, mikä voi aiheuttaa suuria vaikeuksia, jos talo täytyy esim. tulipalon uhatessa nopeasti tyhjentää asukkaista.
- rakenteiden liitoskohtien raoissa esim. ovissa saattaa paine-erojen vaikutuksesta syntyä häiritsevää ääntä. Normaalitapauksessa ei vielä n.  $50 \text{ N/m}^2$  paine-ero aiheuta ääniongelmia /15/.
- ilmanvaihtolaitoksen puhaltimien toimintapiste muuttuu termisten voimien ja tuulen aiheuttaman paine-eron vaikutuksesta suunnitellusta arvostaan. Toimintapisteen muutokset saattavat olla ajallisesti tiheitä, jos tuuli pääsee suoraan vaikuttamaan puhaltimeen.



Kuva 37. Puhaltimen toimintapisteen siirtyminen termisten voimien ja tuulen paineen vaikutuksesta.

### 5.3 Häiriöiden poistamis- ja vähentämiskeinoja

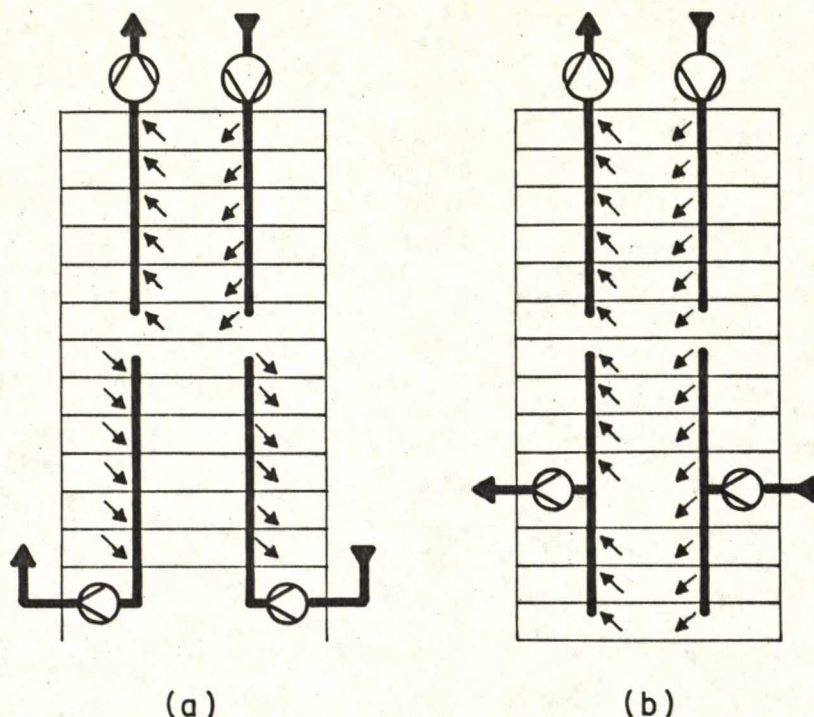
#### 5.31 Ilmanvaihtoteknilliset seikat

Kuten alussa todettiin häiriöiden aiheuttajat ulko- ja sisäilman lämpötilaerot sekä tuuli ovat "luonnonvoimia", joita ei voida kokonaan poistaa, mutta LVI-suunnittelijalla on mahdollisuuksia vähentää ja eliminoida näiden "luonnonvoimien" aiheuttamia haittoja, joita IV-laitoksessa korkeissa rakennuksissa esiintyy.

Koska juuri rakennuksen yhtenäinen korkeus aiheutti suuria paine-eroja tuntuu luonnolliselta jakaa korkean rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmät vertikaalisuunnassa osiin, jotka käyttäytyvät tällöin kuin matalien rakennusten iv-laitokset. Jos ilma poistetaan ja viedään kanaviston sisään samalla korkeudella, kumoavat kanaviston termiset voimat toisiaan. Tulo- ja poistoilmakojeet olisi siis sijoitettava samalle korkeudelle. Tästä on muutakin hyötyä mm. helpompi kiertoilman ja lämmön talteenoton käyttömahdollisuus. Huomattakoon, että tämä toimenpide ei poista suuria sisä- ja ulkotilojen välisten paine-erojen aiheuttamien vuotoilmamäärien haitallisia vaikutuksia /85/, /88/. Kuvassa 38 on esitetty vertikaalisen jaon periaatteita.

Kuvan 38 tapaus (a):ssa ovat puhaltimet sijoitettu alimpaan kerrokseen. Keskusilmanvaihtolaitosten paloturvallisuusmääräykset /89/ sallivat puhaltimen sijoittamisen alas, mutta tällöin on asuintaloissa, sairaaloissa, huoltolaitoksissa ja hotelleissa käytettävä sulkeutuvia palopeltejä, tai sitten kuristimia käytettäessä on pystykanavan yläpää johdettava katon läpi ulkoilmaan ja varustettava sulkupellillä, joka avautuu tulipalotilanteessa /90/. Sisäasiainministeriön parhaillaan laatimissa ilmanvaihdon viranomaismääräysten ehdotuksessa /90/ kuitenkin sanotaan, että poistoilma olisi johdettava rakennuksen korkeimman osan vesikaton yläpuolelle.

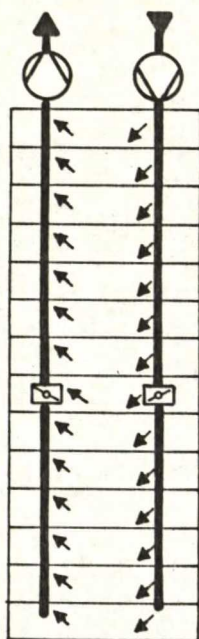




Kuva 38. Ilmanvaihtojärjestelmän vertikaalinen jako /88/.

Sama tilanne koskee myös tapausta (b), jossa poistoilma johdetaan ulkoseinästä ulos välikerroksessa. Tällöin poistoilman uudelleen sisääntunkeutumisen vaara on suurempi kuin tapauksessa (a). Ruotsalaisen tutkimuksen /92/ mukaan ulkoseinältä ulospuhallettu poistoilma nousee ulkoseinää pitkin ylös, joten sisääntunkeutumisen vaara on olemassa. Jälkimmäisellä menetelmällä tutkittu sisäänvirtaavan ilman määrä havaittiin kuitenkin pieneksi. Jos ulospuhallusta käytetään olisi ulospuhallusnopeuden oltava kohtuullinen n. 4 m/s...10 m/s, jotta ulospuhallettu ilma sekoittuisi ulkoilman kanssa paremmin. Yhdysvaltalaisissa pilvenpiirtäjillä on ulkoseinäulospuhallusta käytetty useasti /88/. Tällöin on kuitenkin rakennuksessa käytetty ikkunoita, joita ei voi avata.

Verkoston stabiliteettiä voidaan myös parantaa ja näinollen vähentää häiriöitä sijoittamalla pystykanaviin joko käsin tai automaattisesti ohjattu säätöpelti, jota käytetään talvella kylmillä ilmoilla. Kuvassa 39 on esitetty kaaviollisesti edelläkuvattu järjestely.



Kuva 39. Säätöpeltien käyttö /88/.

Kuvan 39 kaltainen järjestelmä toimii seuraavasti. Alimassa kerroksessa vallitsevan alipaineen kumoamiseksi kurostetaan poistokanavassa olevaa peltiä ja tuloilmakanavassa olevaa peltiä vastaavasti avataan, jotta alakerroksien ilmamäärät eivät muuttuisi.

Puhaltimen valinnalla voidaan myös vaikuttaa häiriöiden suuruuteen. Kuten kuvasta 37 havaittiin puhaltimen toimintapiste voi termisten voimien ja tuulen vaikutuksesta siirtyä. Puhaltimen ominaiskäyrän olisi oltava sellainen, että suuri paineenmuutos vaikuttaa vähän tilavuusvirtaan, siis ominaiskäyrän on oltava jyrkkä /15/. Puhaltimen paineen on oltava suuri verrattuna termisten voimien aikaansaamaan paine-eroon. Jos esim. stabiilisuuden vuoksi valitaan n.  $100 \text{ N/m}^2$  suurempi puhallin tietylle ilmamäärälle, on puhaltimen käyttökustannusten nousu vain n. 2 % niistä kustannuksista mitkä aiheutuisivat saman ilmamäärän lämmittämisestä  $20^\circ\text{C}$  /88/. Paras puhallinvalinta korkeissa ilmanvaihtolaitoksissa on tietenkin jatkuvasäätöisen puhaltimen käyttö, mutta niiden hankintahinta on huomattavasti korkeampi kuin tavallisten puhaltimien.



Ilmanvaihtolaitos voidaan suunnitella ylipaineiseksi, jolloin häiriöpaine-erot pienenevät. Tällöin myös neutraalitason paikka rakennuksen painejakautumassa muuttuu. Ylipaineen suuruudesta ei voi antaa mitään yleispätevää arvoa ja se on tutkittava tapaus tapaukselta. Jonkinlaisena ohjearvona voidaan pitää n. 0,1...0,2 kert/h lisäystä tuloilmapuhaltimelle /15/.

Huomattakoon, että ylipaine huoneissa voi aiheuttaa vakavia kosteusvahinkoja ulkoseinissä. Jos tätä menetelmää käytetään, on ikkunoiden ja ulkoseinien oltava mahdollisimman tiiviit ja ulkoseinien kosteuseristyksen on oltava vartavasten suunniteltu tällaiseen tilanteeseen /93/.

Ylipaineistaminen sopii ehkä parhaiten rakennusten sisääntuloauloissa syntyvän sisäänvirtauksen rajoittamiseen. Esimerkiksi the First National Bank pilvenpiirtäjässä /94/ sisääntuloaulasta poistetaan vain 85 % sinne syötetystä ilmamäärästä, jolloin ovien auetessa ilmapvirtaus todennäköisesti suuntautuu ulos- eikä sisäänpäin.

Ilman jakaminen voi myös tapahtua siten, että katolle sijoitetusta keskuskojeesta ilma jaetaan kerroksissa oleville jälkikäsittelykojeille, joista se edelleenkäsiteltynä jaetaan huonetiloihin. Jälkikäsittelykonehuoneet voivat sijaita joka kerroksessa tai ne voivat palvella jotain kerrosryhmää. Tällainen ilmanjakojärjestely on stabiilimpi kuin vain yhtä keskuskojetta käytettäessä, sillä jälkikäsittelykonehuoneet tai -kammiot toimivat verkoston paineen- ja ilmamäärän taasajina.

Tällaisella ilmanjakojärjestelyllä on kuitenkin haittansa tulipalotilanteessa, sillä savukaasut voivat levitä kerros- puhaltimien vaikutuksesta /15/. Luonnollisestikin tämä järjestely tulee kalliiksi, koska tarvitaan enemmän konehuoneita.



Häiriöiden suuruuteen voidaan myös vaikuttaa ajamalla ilma pystykanaviin lämpötilassa, joka on lähellä ulkoilman lämpötilaa, jolloin savupiippuvaikutus pystykanavissa tulee pieneksi. Tämä tarkoittaa sitä, että talvella ilmaa lämmitetään keskuskojeessa mahdollisimman vähän ja lopullinen lämmitys tapahtuisi vasta kerroksissa olevissa jälkilämmityspattereissa.

Tällainen järjestelmä vaatii taloudellista optimointia lämmityspattereiden suuruuden jakamisessa.

Tulo- ja poistoelinten valinnalla voidaan kanavaverkostoa huomattavasti stabiloida. Olisi käytettävä elimiä, joiden painehäviö on suuri. Painehäviöiden suuruuden vaikutus tulee selvästi esille kaavan (41) perusteella lasketuissa taulukoissa 21 ja 22. Elinten valinnassa on kiinnitettävä huomiota asetettuihin äänivaatimuksiin, sillä painehäviön kasvaessa nousee myös elinten äänenmuodostus.

Tuloilma-aukon sijoittamisella voidaan myös vaikuttaa ilmanvaihtolaitoksen häiriöiden vähentämiseen. Sijoituksella on suuri merkitys, sillä etenkin korkeiden rakennusten yläosassa sijaitseviin ilmanottoaukkoihin voi tuuli aiheuttaa huomattavan paineen. Tuulen paineen vaikutusta on vaikea vaihtaa esim. automaattisella säätöpellillä, sillä tuulen paine saattaa ajallisesti vaihdella hyvinkin nopeasti. Paras tuulen paineen häiriöiden estämiskeino on sijoittaa tuloilma-aukko sellaiseen suuntaan, jossa vallitsee heikohko ympärivuotinen tuuli. Sitä ei saisi sijoittaa sellaiseen suuntaan, mistä todennäköisesti aina tuulee eikä myöskään jatkuvan tyynen puolelle, sillä tällä puolella rakennusta vallitsee alipaine ja näinollen epäpuhtaudet saattavat kulkeutua helpommin tuloilmakanavistoon.



Tuloilma-aukko voidaan asentaa myös vaakasuoraan asentoon katolle, jolloin tuulen paine ei siihen paljon vaikuta, mutta tällöin se on suojattava hyvin vesi- ja lumisateelta. Jos tuulen todennäköisesti vallitseva suunta antaa mahdollisuuksia olisi tuloilma-aukko sijoitettava kohti pohjoista ja pihan puolelle (ei kohti raskaastiliikennöityä katurakennusta) /95/, /96/. Myös viranomaiset antavat määräyksiä tuloilma-aukon sijoituksesta maanpinnan, poistoilma-aukon, savupiipun ja tuuletusviemäreiden yms. suhteen /91/. Nämä on luonnollisesti otettava huomioon jopa stabiilisuuden kustannuksella.

Poistoilma-aukon sijoituksessa on otettava samat seikat huomioon, mitä edellä todettiin tuulen paineen vaikutuksesta tuloilma-aukkoon. Normaalisti poistoilmalaitos on stabiilimpi kuin tuloilmalaitos, koska poistoelimenä usein käytetään suuren painehäviön omaavia venttiilejä, joten poistoaukon sijoittelulla ei ole niin suurta vaikutusta kuin tuloilma-aukon sijoittamisella. Myös poistoaukkojen sijoittamisesta esim. tuloilma-aukon suhteen ovat viranomaiset antaneet määräyksiä /91/.

Lämmitys- ja jäähdytyspatterit eivät vaikuta verkoston balanssiin merkittävästi, vaikka ilman lämpötilan muutos vaikuttaa ilman tiheyteen ja viskositeettiin, muuttaen täten kitka- ja kertavastuksia. Esimerkiksi 20°C lämpötilan nousu haarautuman toisessa osassa muuttaa ilmavirtojen suhdetta vain n. 2,5 %, jos kitkavastuksia on 30 % koko painehäviöstä /85/. Näinollen korkeiden rakennusten lämmitys- ja jäähdytyspattereiden valinnassa pätee samat kriteeriot kuin matalampienkin rakennusten patterivalinnoissa.

Pystykanavien mitoittaminen erikoisen kireiksi olisi stabiilisuuden kannalta houkuttelevaa (kaava (41)), mutta on osoitettu /88/, että kanavasysteemin herkkyyks on ilmamäärien muutokselle



kasvaa jos pääkanavien vastusta lisätään. Parasta on siis mitoittaa pääpystykanavat suhteellisen pienille ilmannopeuksille ja valita pääte-elimien vastus suureksi. Jos pääkanavat mitoitetaan suurille ilmannopeuksille syntyy myös helposti vaikeita ääniongelmia. Tässä yhteydessä voitane todeta, että nykyaikaisessa asuinkerrostalorakentamisessa käytetään usein esivalmistettuja kylpyhuone-elementtejä, ja tällöin voi korkeissa rakennuksissa tulla vaikeuksia. Standardi kylpyhuone-elementeissä sijaitsevilla ilmanvaihtokanavilla on normaalisti varattu syvyysuunnassa tilaa n. 30 cm, joten korkeintaan NS 20 pyöreä peltikanava mahtuu paloeristyksineen hormiin. Keittiön norminmukaisen poistoilmamäärän ollessa  $22 \text{ dm}^3/\text{s}$  voidaan yhteen pystykanavaan liittää vain 7 kpl keittiöitä, jos ei haluta käyttää yli 5 m/s virtausnopeuksia pystykanavassa. Tämä merkitsee sitä, että yli 8-kerroksisissa elementtitaloissa olisi käytettävä toista ylimääräistä poistokanavaa keittiöiden poistoilmaa varten, vaikka nykyisillä poistoilmaventtiileillä pystytettiin hoitamaan n. 10 keittiön poistoilmavaihto ilman, että termiset voimat muuttaisivat liikaa ilmamääriä, ja ettei sallittuja äänitasoja ylitetä.

Vertailtaessa eri ilmanvaihtojärjestelmien sopivuutta juuri korkeisiin rakennuksiin ei voida nimetä mitään ehdotonta patenttijärjestelmää, vaan kullakin järjestelmällä on hyvät ja huonot puolensa myös korkeissa taloissa niinkuin muissakin rakennuksissa. Järjestelmän valinnassa tulee luonnollisesti ottaa huomioon mm. sisäilmaston tasovaatimukset, käyttö- ja asennuskustannukset, iv-laitoksen tilantarve, muunneltavuus jne.

Yleispiirteenä voidaan sanoa, että korkeiden rakennusten ilmanvaihtojärjestelmissä on voitava käyttää pääte-elimä, joilla on suuri painehäviö ( $250 \text{ N/m}^2 \dots 500 \text{ N/m}^2$ ). Tämä seikka sulkee pois tavallisen matalapainejärjestelmän (piennopeusjärjestelmä). Seuraavassa on lueteltu järjestelmiä, jotka sopivat hyvin korkeiden rakennusten ilmanvaihtojärjestelmiksi /15/.



- 1 Yksikanavajärjestelmä, jossa koko tarvittava ilmamäärä jälkikäsitellään kerroksittain tai kerrosryhmittäin
- 2 Yksikanavajärjestelmä, jossa vain raitisilma jälkikäsitellään (induktiojärjestelmä, puhallinkonvektori-järjestelmä)
- 3 Kaksikanavajärjestelmä
- 4 IMS-järjestelmä (VAV-järjestelmä)

Edelläluetellut järjestelmät eivät ole esitetty missään parannusjärjestyksessä, vaan kullakin on hyvät ja huonot puolensa. Seuraavankaltaisia vertailuja voidaan kuitenkin tehdä. Järjestelmissä 1 ja 3 on poistoilmajärjestelmän stabilointi helpompaa verrattuna järjestelmään 2, koska poistoilmamäärät ovat suurempia. Järjestelmässä 4 on myös poisto-järjestelmän stabiloinnissa vaikeuksia, koska ilmamäärät muuttuvat. Järjestelmä 3 vaatii suurimman tilantarpeen verrattuna muihin. Järjestelmässä 4 tarvitaan kalliit jatkuväsäätöiset puhaltimet. Järjestelmissä 3 ja 4 ei huonetilassa ole vesivahinkojen vaaraa.

### 5.32 Rakennusteknilliset seikat

Korkeiden rakennusten termisten voimien ja tuulen aiheuttamia haittoja ei pystytä poistamaan pelkästään ilmanvaihtoteknisin keinoin. Tämä johtuu siitä, että haittojen aiheuttajat ovat luonteeltaan "luonnonvoimien" kaltaisia.

Korkeiden rakennusten kokonaissuunnittelu vaikuttaa oleellisesti myös ilmanvaihtolaitoksen toimintaan, joten rakennusteknisillä seikoilla voidaan myös parantaa ilmastointilaitteiston toimintaa.

Lämmöntarvelaskennan yhteydessä esitettiin jo keinoja, jotka vähentävät savupiippuvaikutuksen aiheuttamia haittoja. Tässä on vielä lueteltu keinoja ja seikkoja, jotka korkeiden talojen rakennussuunnittelussa ja materiaalivalinnoissa pitäisi ottaa huomioon.

- ulkoseinien ja -ikkunoiden tulisi olla mahdollisimman tiiviit. Yhdistetyn ulkoseinä- ja ikkunarakenteen vuoto pitäisi olla korkeintaan suuruusluokkaa  $1...2 \text{ dm}^3/\text{sm}^2$ , kun paine-ero on  $75 \text{ N/m}^2$  /15/
- alakerran sisääntulotiloissa pitäisi käyttää pyöröovia ja tuulikaappeja.
- porrashuoneet pitäisi erottaa sisätiloista eristävin käytävin ja ovin, ottaen kuitenkin huomioon mitä edellä todettiin ovien aukaisu- ja äänivaikeuksista
- hissit järjestetään siten, että jotkut niistä palvelevat vain tiettyä rakennuksen korkeusosaa. Kaikkien hissien ei pitäisi kulkea suoraan alhaalta ylös
- hissien ovet olisi tehtävä mahdollisimman tiiviiksi, ottaen jälleen huomioon aukaisu- ja ääniongelmät. Yhden oven rakojen pinta-ala tulisi olla n.  $0,05... 0,1 \text{ m}^2$  /15/
- kaikki välipohjien sähkö- ja LVI-lävistykset on tiivistettävä huolellisesti.



#### 5.4 Yhteenveto

Suurimmat häiriöt korkeiden rakennusten ilmanvaihtolaitoksen toiminnalle aiheuttavat termiset voimat ja tuulen paine, termisillä voimilla eli savupiippuvaikutuksella on suomalaisesta talvesta johtuen yleensä suurempi vaikutus kuin tuulella.

Jo suhteellisen matalissakin rakennuksissa syntyy poikkeamia ilmamäärissä. Kerrosten lukumäärän kasvaessa vaikeudet lisääntyvät ilman erikoistoimenpiteitä, kuten säätöpeltejä tai koneiston jakamista useampaan erilliseen osaan vertikaalisuunnassa.

Termisten voimien vaikutuksesta syntyvät paine-erot ulkoilman ja sisätilojen välillä riippuvat ulkoseinien rakojen vastuksesta ja jakautumisesta seinämillä sekä sisätilojen pystysuuntaisille virtauksille muodostamasta vastuksesta. Jos virtaus pystytilojen välillä on pieni, ulkoseinän paine-erot ovat suuret. Välipohjien vastuksen lisääminen pienentää ulkoseinien paine-eroa, mutta lisää vastaavasti pystytilojen välistä ja vertikaalisten kanavien paine-eroa /85/.

Termisten häiriöiden vaikutus iv-kanavistossa voidaan eliminoida sijoittamalla ilmanotto- ja poistoaukot samalle korkeudelle rakennuksen korkeuden suhteen. Tämä ei kuitenkaan poista sisä- ja ulkotilojen välisiä paine-eroja, joten niiden aiheuttamat haitat täytyy ratkaista pääasiassa rakennusteknillisin keinoin.

Korkeisiin rakennuksiin sopii parhaiten ilmanvaihtojärjestelmät, joissa pääte-elimissä voidaan käyttää suurta painehäviötä, tämä sulkee pois ainoastaan ns. tavallisen matalapainejärjestelmän. Mitään yhtä ja ainoasta oikeaa korkeiden rakennusten ilmastointijärjestelmää ei voida nimetä, vaan kukin kohde on yksilöllisesti käsiteltävä ottaen huomioon taloudelliset ja iv-tekniset seikat.



Korkeiden rakennusten LVI-suunnittelu ei oleellisesti poikkea muiden rakennusten LVI-suunnittelusta, mutta rakennuksen kasva-  
va korkeus tuo mukanaan seikkoja, jotka on otettava huomioon LVI-järjestelmien valinnassa sekä niiden mitoituksessa.

Nykyisin käytettävät lämmitystarpeen laskentaohjeet RIL 62 /5/ sopivat myös korkeiden rakennusten lämmitystarpeen mää-  
räämiseen. Transmissiolämmitystarpeen osalta laskentaohjeen /5/ oletukset ja antamat tulokset riittävät hyvin korkeisiin rakennuksiin, jos käytetään pienen lämmönläpäisykertoimen omaavia ulkoseiniä ja -ikkunoita. Vuotoilman lämmitystarve voi kasvaa korkeissa rakennuksissa huomattavasti savupiippu-  
vaikutuksen aiheuttamana. Korkeaan rakennukseen syntyvä painejakautuma olisi aina tutkittava joko arvioiden lasken-  
taohjeen /5/ antamalla menetelmillä tai käytettävä tietoko-  
neohjelmia /19/. Rakennuksen vertikaaliset yhtenäiset tilat (porrashuone, hissikuilu) voivat aiheuttaa rakennuksen ulko-  
seinille niin suuria paine-eroja ja täten ilman sisään- ja ulosvirtauksia, ettei nykyisin asuinrakennuksissa käytössä oleva koneellinen poistotuuletusjärjestelmä yksin riitä, vaan joudutaan turvautumaan koneelliseen lämmitetyn ilman sisäänpuhallukseen. Riippuen edellä mainittujen vertikaal-  
tililojen järjestelyistä sisäänpuhallus saattaisi tulla kysymykseen jo yli 10-kerroksisissa asuintaloissa. Liitteessä 1 on esitetty esimerkki 9-kerroksisen asuinraken-  
nuksen lämmöntarvelaskennasta. Siinä on vertailtu eri ker-  
roksissa olevien huoneiden vuotoilman lämmitystarpeita.

Korkean rakennuksen pumppukiertoista vesikeskuslämmitys-  
järjestelmää valittaessa ei omavoimaisen kierron vaikutusta tulisi unohtaa. Korkeiden rakennusten lämmitysjärjestelmäksi



sopii 1-putkijärjestelmä ehkä paremmin kuin 2-putkijärjestelmä, sillä 1-putkijärjestelmässä sarjaan kytketyt radiaattorit asettavat luonnostaan esteen liialliselle omavoimaiselle kierrolle ja sen aiheuttamalle sisälämpötilojen epätasaiselle jakautumiselle rakennuksen korkeussuunnassa.

Jos korkeaan rakennukseen tulee oma lämpökeskus se voidaan myös sijoittaa yläkerrokseen tai katolle. Kattokeskuksen etuja ja haittoja on esitetty kohdassa 3.211.

Korkeissa rakennuksissa voi lämmitysverkostoon kohdistuva suuri staattinen paine aiheuttaen näin suuremmalle paineelle suunniteltujen ja kalliimpien laitteiden valinnan. Normaalisti tulevat tällöin ensimmäisenä kysymykseen radiaattorit.

Korkeiden rakennusten vesilaitteiston ongelmana on usein yleisen vesijohtoverkoston paineen riittämättömyys. Tällöin tarvitaan vesijohtopaineen korotusta. Paineenkorotusasema saattaa aiheuttaa lisäongelmia verkoston optimaalisen suunnittelun ja lisääntyvien meluhaittojen muodossa.

Likavesiviemäröinnissä on korkeissa taloissa vaikeuksia, sillä käytettäessä tavallista tuuletettua pystyviemäriä voi siihen syntyä suuriakin alipaineita, jolloin pystyviemäriin liittyvissä haaraviemäreissä olevat vesilukot saattavat tyhjäntyä. Ongelma on ratkaistu hyvin työssä esitellyllä sveitsiläistä alkuperää olevalla SOVENT-viemäröintijärjestelmällä.

Korkeiden rakennusten kattosadevesien sisäpuoliseksi sadevesijärjestelmäksi soveltuu erittäin hyvin umpivirtausjärjestelmä (UV-järjestelmä).

Korkeiden rakennusten ilmanvaihtolaitoksen moitteettomalle toiminnalle asettavat termiset voimat eli savupiippuvaikutus suuria vaatimuksia. Termisten voimien aiheuttamien häiriöiden vähentämiseen ei yksin riitä ilmanvaihtoteknilliset toimenpiteet, vaan myös rakennussuunnittelulla voidaan parantaa iv-laitoksen toimintaa. Korkeissa rakennuksissa tulisi käyttää ilmastointijärjestelmää, jonka sisäänpuhalus- ja poistoelimissä voidaan käyttää suurta painehäviötä.

Liitteessa 2 on esitetty kirjallisuusluettelo, johon on kerätty korkeiden rakennusten paloturvallisuutta käsitteleviä lehtiartikkeleita.

Korkean rakennuksen suunnittelu on myös LVI-suunnittelijalle vaativa tehtävä. Suunniteltaessa korkeaa rakennusta on eri suunnitteluosapuolten yhteistoiminnan oltava normaalia tiiviimpää, jotta myös rakennuksen LVI-järjestelmä täyttäisi sille asetetut tavoitteet.



## LÄHDELUETTELO

- /1/ Salokangas & Lahti & Ruokojoki, Rakennusten lämpö-  
talous. Otaniemi 1973. VTT. Rakennustalouden labo-  
ratorio, tiedonanto 8.
- /2/ Vuorelainen O., Rakennusten lämpötalouteen vaikut-  
tavat tekijät. INSKO, julkaisu 74-9. Rakennusten  
energiahuollon erityiskysymyksiä
- /3/ Gertis K., Energieverbrauch und Wärmeschutz im  
Hochbau. Heizung-, Lüftung- und Haustechnik 26  
(1975) 3, s. 105...110
- /4/ Energian säästön huomioonottaminen valtion rakennus-  
ten ja valtionapua nauttivien yhteisöjen rakennus-  
ten suunnittelussa. Rakennushallitus, rakennusosas-  
to 1975. Helsinki 1975
- /5/ Lämmitystarpeen laskentaohjeet 1969. Suomen Raken-  
nusinsinöörien Liitto, julkaisu RIL 62. Vammala  
1969, 47 s.
- /6/ Vuorelainen O., LVI-tekniikka I<sub>1</sub>. Moniste n:o 218.  
Teknillisen korkeakoulun ylioppilaskunta, Otaniemi  
1968, 234 s.
- /7/ Isfält E. & Peterson F., Lokal värmeövergång vid  
höga byggnader. VVS 44 (1973) 3, s. 59...62.
- /8/ Gabrielsson J., LVI-tekniikka, meteorologiset pe-  
rusteet. Tekniikan käsikirja 5, 8. painos, Gumme-  
rus, Jyväskylä 1970. s. 636...652.

- /9/ Venho S.N., On the distribution of wind in Finland. Ilmatieteen Keskuslaitoksen toimituksia n:o 45. Helsinki 1958.
- /10/ Gerhart K., Modellversuche über die Verteilung des konvektiven Wärmeüberganges an Gebäudefassaden. Kältetechnik - Klimatisierung 19 (1967) 5, s. 122 ...128.
- /11/ Ito N. & Kimura K. & Oka J., A field experiment study on the convective heat transfer coefficient on the exterior surface of a building. ASHRAE Transactions 78 (1972) part I n:o 2225, s. 184...191
- /12/ LIVI-Asuinrakennusten ilmanvaihtonormit 1966. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto, julkaisu RIL 52. Vammala 1966.
- /13/ Hagner B., Massavirtojen muutokset ilmanvaihtolaitoksissa. LVI 25 (1972) 8, s. 19...27
- /14/ Helsingin kaupungin rakennustarkastajan ohjeita ilmanvaihdon suunnittelusta. Helsingin kaupungin maistraatin vahvistamat 9.4.1968.
- /15/ Olsson H., Luftbehandling i höga hus. VVS 44 (1973) 3, s. 43...54
- /16/ Schüle W., Heizwärmeverbrauch bei Hochhäusern. Gesundheits - Ingenieur 87 (1961) 8, s. 261...264
- /17/ Katz P., "Über Windgeschwindigkeitsverhältnisse und Einfluss der natürlichen Luftbewegung auf dem Wärmebedarf von Hochhäusern. Heizung-, Lüftung- und Haustechnik 20 (1969) 6, s. 228...230



- /18/ Raiss W., Research an heating installations in tall blocks. J.I.H.V.E 1966 nr. 6, s. 88...92.
- /19/ Gabrielsson J. & Porra P., Calculation of infiltration and transmission heat loss in residential buildings by digital computer, J.I.H.V.E (1968) 4, s. 357...368
- /20/ Schwarz B., Witterungsbeanspruchung von Hochhausfassaden. Heizung-, Lüftung- und Haustechnik 24 (1973) 12, s. 376...384.
- /21/ Barret R.E. & Locklin D.W., Computer analysis of stack effect in high-rise buildings. ASHRAE Transaction 74 (1968) part II, n:o 2084, s. 155...169
- /22/ Jackman P.J., A study of the natural ventilation of tall office buildings. Heating- & Ventilating Engineer (1970) 10, s. 183...195.
- /23/ Kuluttajien kaukolämpölaitteita koskeva suositus 1973-02-21. Lämpölaitosyhdistys ry, Lämmönjakokeskuskomitea
- /24/ Saarto J., Asuinrakennusten lämpöjohtoverkostojen mitoituslaskennasta. Suomen LVI-yhdistys, julkaisu Huonelämpötilan tasaaminen ja SI-järjestelmä, s. 69 ...87.
- /25/ Vuorelainen O., LVI-tekniikka I<sub>3</sub>. Moniste n:o 235. Teknillisen korkeakoulun ylioppilaskunta, Otaniemi 1972, 240 s.
- /26/ Neuvo L., Energian yhteistuotanto tavoitteeksi taajamissa. Helsingin Sanomat 1975-10-02.

- /27/ Lämpöurakoitsijamääräykset ja -ohjeet. Helsingin kaupungin sähkölaitos. Sähkölaitoksen vahvistamat 1973-08-01.
- /28/ Vesikaukolämmityksen liittymis- ja lämmöntoimitusehdot. Kaupunginhallituksen päätös 1975-05-19. Helsingin kaupungin sähkölaitos.
- /29/ Kuluttajan kaukolämpölaitteiden suunnittelua ja asennusta koskevat määräykset ja ohjeet. 1973-11-01. Espoon Sähkö Oy.
- /30/ Keskuslämmityslaitoksen huone- ja öljysäilytystiloja koskeva ohje. Sisäasiainministeriö 2.6.1975.
- /31/ Fehr E., Eine Heizzentrale im Dachgeschoss. Sanitär- und Heizungstechnik 30 (1965) 8, s. 555...557.
- /32/ Reimer H., Blockheizwerke als Dachzentralen. Heizung- Lüftung- und Haustechnik 18 (1967) 12, s. 444...450.
- /33/ Kemper G., Wärme von oben. Sanitär- und Heizungstechnik 33 (1968) 10, s. 601...603.
- /34/ Kattilahuone katolle. LVI 21 (1969) 4, s. 54...55.
- /35/ Schönfeld G., Heizzentralen auf dem Dach. Heizung-, Lüftung- und Haustechnik 22 (1971) 5, s. 177...179.
- /36/ Barthelmess S., Trend in der Heizungstechnik und auf dem Heizungsmarkt. Heizung-, Lüftung- und Haustechnik 23 (1972) 1, s. 4...7.



- /37/ Küstner W., Schwerkraftwirkung und Betrieb von Pumpen - Warmwasserheizungen. Gesundheits-Ingenieur 82 (1961) 2, s. 33...36
- /38/ Rydberg J. & Mandorff S., Störningar från själv-cirkulationskrafter i pumvarmvattensystem VVS 30 (1960) 5, s. 149...152.
- /39/ Lahtinen I., Vesivirtojen asetus kaksiputkijärjestelmässä. LVI 20 (1968) 6, s. 10...17.
- /40/ Riipinen M., Työsuojelulainsäädännön sisäilmastolle asettamat vaatimukset. INSKO, julkaisu 96-75. Sisä-ilmasto ja sen mittaaminen.
- /41/ Hannukainen O., Säädön ja käytön taloudellinen merkitys. Suomen LVI-yhdistyksen julkaisu Huonelämpötilan tasaaminen ja SI-järjestelmä, s. 153...173.
- /42/ Makara G., Wirkung des durch die Schwerkraft hervorgerufenen Druckes bei Pumpenwarmwasserheizung. Heizung-, Lüftung- und Haustechnik 23 (1972) 3, 4 s. 72...77, 124...127
- /43/ Yksiputkijärjestelmä M-68. Parkano Oy:n tuote-esite.
- /44/ ARCU-yksiputkijärjestelmä. Rafu Lönnström Oy:n tuote-esite.
- /45/ Laine V., LVI-sovellutukset BES-rakentamisessa. Betonituote 3/1974, s. 36...38.
- /46/ Pousi J.A., Putkistojen lämpöliikkeen tasaus. LVI-yhdistyksen julkaisu Lämpötekniikka II 1970, s. 129...156.

- /47/ Insinööri P-E. Lindblomin ja tekniköiden R. Mäen, H. Kärjen ja M. Kainulaisen haastattelu 17.10.1975  
Lämpötekniillinen Insinööritoimisto Oy:ssä
- /48/ Insinööri Matti Hämäläisen haastattelu 21.10.1975  
Lämpötekniillinen Insinööritoimisto Oy:ssä
- /49/ Vuorelainen O., LVI-tekniikka I<sub>5</sub>. Moniste n:o 314.  
Teknillisen korkeakoulun ylioppilaskunta, Otaniemi  
1973, 106 s.
- /50/ Halme A., Rakennus- ja huoneakustiikka. Moniste  
n:o 256. Teknillisen korkeakoulun ylioppilaskunta,  
Otaniemi 1970, s. 210.
- /51/ LVI-melu-68. LVI-yhdistyksen julkaisu 1968.
- /52/ Ääneneristysnormit 1967. Rakennusinsinöörien Liit-  
to, julkaisu RIL 55. Vammala 1967.
- /53/ Rakennusten vesijohdot ja viemärit. Suomen kunnal-  
listeknillisen yhdistyksen julkaisu n:o 7. Helsinki  
1972, s. 415.
- /54/ Sisäasiainministeriön määräykset ja ohjeet koskien  
kiinteistöjen vesi- ja viemärilaitteistoja. Luonnos  
14.3.1975.
- /55/ Kvarnström K-E., Kiinteistökohtainen vesijohtopaineen  
korotus. Suomen LVI-yhdistys julkaisu. Vesi ja  
viemäri III 1973, s. 89...97.



- /56/ Fernich H., Druckbehälter in Wasserversorgungsanlagen. Sanitär- und Heizungstechnik 34(1969) 10, s. 767...768.
- /57/ Gottwald W., Berechnung von Anlagen mit intermittierender Pumpenförderung. Sanitär- und Heizungstechnik 34(1969) 9, s. 665...668.
- /58/ Schaub R.F., Design criteria and operational characteristics of water pressure boosting systems. Building Systems Design 1972 Nr. 2, 4, s. 40...42, 34...36.
- /59/ Renghalt U., Vesijohtokalusteiden paineenvaihtelut. LVI 24 (1972) 1, s. 27...33.
- /60/ Gabrielsson J., Vesijohtojen aiheuttaman melun mittauokset Kiinteistö Oy Peiponrinne 1:n uudisrakennuksella Porvoon maalaiskunnassa 8.-12.6.1966. Ääniteknillisen yhdistyksen ja LVI:n toimesta suoritettun tutkimuksen selostus.
- /61/ Bösch K., Warmwasserversorgungen in Hochhäusern. Heizung- Lüftung- und Haustechnik 8 (1957) 2, s. 47...53.
- /62/ Mörck P., Nye schweiziske normer for afløbsinstallationer. Dansk VVS 1969 nr. 2, s. 67...72.
- /63/ Silvonen S., Vesi- ja viemäritekniikan tutkimuksesta Ruotsissa. LVI 26 (1974) 1, s. 32...38.
- /64/ Olsson E., Avloppsledningar och vattenlåsdimensioner VVS 35 (1964) 5, s. 221...228.

- /65/ Muovisten viemäriputkien käyttö, kova PVC. Sisäasianministeriön lausunto 7.12.1966. rek.n:o 40.
- /66/ Sisäasiainministeriön päätös (327/62) rakennusten palonkestävyydestä muutoksineen. Rek. n:o 01. Suomen Palontorjuntaliitto 1973.
- /67/ Sommer F. & Hanslin R., Die Fallwasserverteilungen im vertikalen Ablaßrohr. Sanitär- und Heizungstechnik 33(1968) 12, s. 785...789.
- /68/ Ryti H., Stationäärinen lämmön siirtyminen, pakotettu virtaus kappaleen ulkopuolella, valuva nestekerros. Tekniikan käsikirja osa 5, Gummerus 1970, s. 45.
- /69/ Meek O., Nytt sanitaerreglement. Norsk VVS 1969 nr. 5, s. 148...153.
- /70/ Becher P., Det nordiske afløbsregulative VVS 40 (1969) 4.
- /71/ Uponal - HT viemäriputket. Käyttö- ja suunnitteluohjeet, syyskuu 1975.
- /72/ Berglund D.T., Störningar i köksavloppssystemen. Byggforskningen, rapport 155, Stockholm 1963.
- /73/ Lindroos C., Viemäritukkeumat ja niiden korjaaminen LVI 26 (1974) 7, s. 20...22.
- /74/ Rowell T. W., Single stack drainage systems. Building systems Design 1972 nr. 7, s. 26.



- /75/ Thewes H., Die Funktionssicherheit von Smutzwasser-Falleleitungen für Bäder und Küchen in 21 geschossigen Wohnhochhäusern. Stad- und Gebäudetechnik 1970 Heft 12, s. 324...328, 1971 Heft 1, s. 14...16.
- /76/ Knobloch W., Gesundheitstechnische Anlagen im Interhotel "Stadt Berlin". Stad- und Gebäudetechnik 1969 Heft 9, s. 238...243.
- /77/ Werner G., Sanitär und feuerschutztechnische Einrichtungen im Hochhaus Universitätskomplex Leipzig. Stad- und Gebäudetechnik 1972 Heft 3.
- /78/ Kriemler H., Sanitäre Instellationstechnik in der Schweiz. Gesundheits-Ingenieur 77 (1956) 15/16, s. 252...257, 17/18, s. 285...288, 21/22, s. 340...342.
- /79/ Dickerson D.F., How to design Sovent Building Systems Design 1970 nr. 1, s. 60...62, nr. 2, s. 60...63, nr. 3, s. 75...77.
- /80/ Sovent in highest-rise apartments. Building Systems Design 1972 nr. 8, s. 30...32.
- /81/ Sovent drainage systems. Phelps Dodge Industries Inc. Lee Brothers Company. Tuote-esite.
- /82/ Copper Sovent Single-Stack Plumbing System. Design Handbook. Copper Development Association Inc. USA 1974.
- /83/ Copper Sovent Single-Stack Plumbing System. Handbook, supplement. Copper Development Association Inc. USA 1974.

- /84/ Ekeling O., UV-sadevesijärjestelmä. Suomen LVI-yhdistyksen julkaisu Vesi ja viemäri I 1972, s. 99...122.
- /85/ Aittamäki A., Ilmavirtojen jakautuminen ja perusasetus ilmastointikanavistossa, osa II. VTT, Lämpötekniikan laboratorion tiedonanto n:o 7, Helsinki 1970.
- /86/ Rydberg, J., Om ventilationssystem funktion. VVS 39 (1968) 2, s. 55...65.
- /87/ Lämmön säästöä ilmanvaihtoa kehittämällä. Insinööriutiset 1975-10-03.
- /88/ Rydberg J., Störningar vid ventilationssystem. VVS 30 (1959) 9, s. 251...260.
- /89/ Keskusilmanvaihtolaitosten paloturvallisuusmääräykset. Paloluokitustiedote n:o 360. Sisäasianministeriö 3.6.1974. Suomen Palontorjuntaliitto 1974.
- /90/ Lastu A., Paloturvallisuus LVI-tekniikassa. LVI 26 (1974) 5, s. 18...21.
- /91/ Ilmanvaihtoa koskevat määräykset. Ehdote 25.6. 1975.
- /92/ Göransson J., Evakuering av luft i höghus. VVS 34 (1963) 2, s. 51...53.
- /93/ Virtanen V., Huoneilman kostutus ja rakennevauriot. LVI 23 (1971) 3, s. 24...29.
- /94/ Salinger R.J. & Kanazawa T., The First National Bank: Air system designer's view. HPAC 40 (1969) 9, s. 145...149.



- /95/ Olsson S., Val av filterinstallationer i höga hus.  
VVS 44 (1973) 3, s. 29...36.
- /96/ Lindströmm E., Friskluftintag till ventilations-  
anläggningar. VVS 29 (1958) 4, s. 111...115.
- /97/ Vuorelainen O., Viihtyisälle huoneilmastolle ase-  
tettavia vaatimuksia ja niiden toteuttaminen.  
Suomen Rakennusinsinöörien Liiton julkaisu RIL 76.  
LVI-kurssi rakentajille 1969.

## KUVALUETTELO

- 1 Lämmönkulutuksen jakautuminen rakennuskannassa 1970 /1/.
- 2 Keskimääräisen lämmönläpäisykertoimen riippuvuus rakennuksen ulkovaipan ja tilavuuden suhteesta /3/.
- 3 Keskimääräinen tuulen nopeuden riippuvuus korkeudesta /6/.
- 4 Ulkopuolisen lämmönsiirtymiskertoimen riippuvuus tuulen nopeudesta.
- 5 Erilaisten ulkopintojen lämmönläpäisykertoimien riippuvuus tuulen nopeudesta.
- 6 Erilaisten ulkopintojen rajalämpötilojen riippuvuus tuulen nopeudesta Helsingissä, kun sisälämpötila on  $20^{\circ}\text{C}$ .
- 7 Tuulen nopeusjakautuma Helsingissä pakkaskaudella ( $-30^{\circ}\text{C} \dots -0^{\circ}\text{C}$ ) v. 1901...1940.
- 8 Tuulen dynaaminen paine korkeudesta riippuvana.
- 9 Tuulen aiheuttama painejakautuma /5/.
- 10 Savupiippuvaikutus eri ulkolämpötiloilla, kun  $t_s = 20^{\circ}\text{C}$
- 11 Savupiippuvaikutuksen aiheuttama painejakautuma /5/.
- 12 Tasapainokorkeus tuulen nopeuden funktiona, kun sisälämpötila on  $20^{\circ}\text{C}$ .



- 13 Pumppukiertoisen laitoksen periaatekaavio.
- 14 Pumppukiertoisen lämmityslaitoksen meno- ja paluuveden lämpötilan ulkolämpötilasta riippuvana, kun sisälämpötila on  $20^{\circ}\text{C}$  /24/.
- 15 Omavoimainen kierto ulkolämpötilasta riippuvana. Meno- ja paluuveden lämpötilat on saatu kuvasta 14.
- 16 Kaksiputkijärjestelmän periaatepiirros.
- 17 Kerrostalojen yksiputkijärjestelmä, missä lämmönjako tapahtuu ulkoseinillä.
- 18 Nousujohtot kantavassa väliseinässä /45/.
- 19 Periaatepiirros paineenlisäysasemasta, jossa on vakiokierroslukuinen pumppu ja painesäiliö /54/.
- 20 Kaavassa (26) käytetyt merkinnät.
- 21 Nomogrammi painesäiliön tehotilavuuden määrittämiseksi /56/.
- 22 Nomogrammi painesäiliön tehotilavuuden määrittämiseksi  $J_{DR}$  on säiliön kokonaistilavuus,  $J_N$  tehotilavuus,  $P_e$  kytkentäpaine,  $P_a$  katkaisupaine ja  $P_v$  lisäilmanpaine /56/.
- 23 Suhteen  $q_v/V_t$  määrittäminen /56/.
- 24 Asuintalojen vedenkulutus /55/.

- 25 Periaatepiirros paineenlisäysasemasta, jossa on kierroslukusäätöinen pumppu /54/.
- 26 Suoraan johtoon kytketty vakiokierroslukuinen paineenkorotuspumppu.
- 27 Vesijohtoverkoston osiin jakaminen.
- 28 NS 100 pystyviemärin alipaineet 10-kerroksisessa talossa ylimpään haaraviemäriin lasketun vesimäärän funktiona.
- 29 SOVENT-järjestelmän sekoitus- ja tasausosat /67/.
- 30 Yhdysvalloissa käytetyt SOVENT-järjestelmän tasaus- ja sekoitusosat /82/.
- 31 SOVENT-pystylinja /82/.
- 32 12-kerroksisen rakennuksen viemäröinti 2-putkijärjestelmällä ja SOVENT-järjestelmällä /82/.
- 33 Tavallisen NS 100 pystyviemäriin ja SOVENT-pystyviemäriin NS 100 syntyvät alipaineet 10-kerroksisessa rakennuksessa. Yksi huuhtelu =  $2,35 \text{ dm}^3/\text{s}$ ,  $1 \text{ mm } W_s \approx 10 \text{ N/m}^2$  /67/.
- 34 SOVENT-sekoitusosan liittäminen NS 100 pystyviemäriin /80/.
- 35 45-kerroksisen rakennuksen painesuhteet ja niiden aiheuttamat ilmavirtaukset /15/.



- 36 Asuinkerrostalon poistojärjestelmä
- 37 Puhaltimen toimintapisteen siirtyminen termisten voimien ja tuulen paineen vaikutuksesta.
- 38 Ilmanvaihtojärjestelmän vertikaalinen jako /88/.
- 39 Säätöpeltien käyttö /88/.

## TAULUKKOLUETTELO

- 1 Erityyppisten rakennusten keskimääräinen vuotuinen lämmönkulutus Helsingissä ja Tapiolassa v. 1965 /2/.
- 2 Erilaisten ulkopintojen normaalitapaus.
- 3 10-, 20- ja 30-kerroksisen rakennuksen yläkerroksien transmissiolämmöntarpeen kasvu alakerrokseen nähden normaalilla ja tuulisella seudulla.
- 4 Tuulen prosentuaalinen nopeusjakautuma Helsingissä v. 1901...1940 eri ulkolämpötila-alueilla.
- 5 Tuulen nopeushavaintojen prosentuaalinen lukumäärä-jakautuma eri ulkolämpötila-alueilla Helsingissä v. 1901...1940, kun tuulen nopeus on ollut suurempi tai yhtäsuuri kuin 3 bof, 4 bof, 5 bof ja 6 bof.
- 6 Huoneen suojaus tuulta vastaan ja laskelmissa käytettävä tuulen dynaaminen paine /5/.
- 7 Laskentaohjeen /5/ antama tuulen dynaaminen paine ja vastaava kerrosluku (kerroskorkeus 3 m).
- 8 Todennäköiseen tuulennopeuteen perustuva tasapaino-korkeus ja vastaava kerrosluku (kerroskorkeus 2,8 m).
- 9 Laskentaohjeen /5/ antamaan tuulen dynaamiseen paineeseen perustuva tasapainokerrosluku lämpötilassa  $-27^{\circ}\text{C}$  (kerroskorkeus 2,8 m).
- 10 Omavoimainen kierto eri ulkolämpötiloilla.
- 11 Omavoimaisen kierron osuus pumpun paineesta, kun ulkolämpötila on  $-27^{\circ}\text{C}$ .



- 2
- 12 Vesimäärien muutokset eri sisälämpötilojen muutosten arvoilla.
  - 13 Kuvan 16 mukaisen piirin painehäviöt erikorkuisissa rakennuksissa.
  - 14 Tarvittava koko piirin painehäviö (kuva 16), jotta sisälämpötila ( $20^{\circ}\text{C}$ ) ei poikkeaisi yli  $2,0^{\circ}\text{C}$ ,  $1,0^{\circ}\text{C}$   $0,5^{\circ}\text{C}$ .
  - 15 Tarvittava radiaattoriventtiilin lisäkuristus, jotta sisälämpötila ei poikkeaisi  $2,0^{\circ}\text{C}$ ,  $1,0^{\circ}\text{C}$  ja  $0,5^{\circ}\text{C}$  alkuperäisestä arvostaan  $20^{\circ}\text{C}$ .
  - 16 Ohjeelliset kaksiputkijärjestelmän radiaattoriventtiilien lisäkuristukset erikorkuisissa rakennuksissa.
  - 17 Suositeltavat minimi- ja maksimitehot eri jakojoh-  
tojen sisähalkaisijoilla.
  - 18 Painesäiliön tehotilavuudet. KytKentäpaine, katkai-  
supaine ja lisäilmanpaine bar ylipainetta /55/.
  - 19 Suurimmat mahdolliset kerrosluvut liitettäessä eri-  
laisia tiloja tuuletettuihin pystyviemäreihin.
  - 20 Sisäpuolisten sadevesipystyviemäreiden mitoitus RVV-  
kirjan mukaan /53/.
  - 21 Termisten voimien aikaansaama alimman ja ylimmän  
kerroksen ilmamäärien prosentuaalinen muutos yhteis-  
kanavapoistojärjestelmässä.
  - 22 Termisten voimien aikaansaama alimman ja ylimmän  
kerroksen tuloilmamäärien prosentuaalinen muutos,  
kun tuloilmapuhallin on katolla ja poistopuhallin  
alimmassa kerroksessa.

## LIITELUETTELO

- 1        Esimerkki huoneiston kokonaislämmöntarpeesta
- 2        Korkeiden rakennusten paloturvallisuutta käsitte-  
leviä artikkeleita



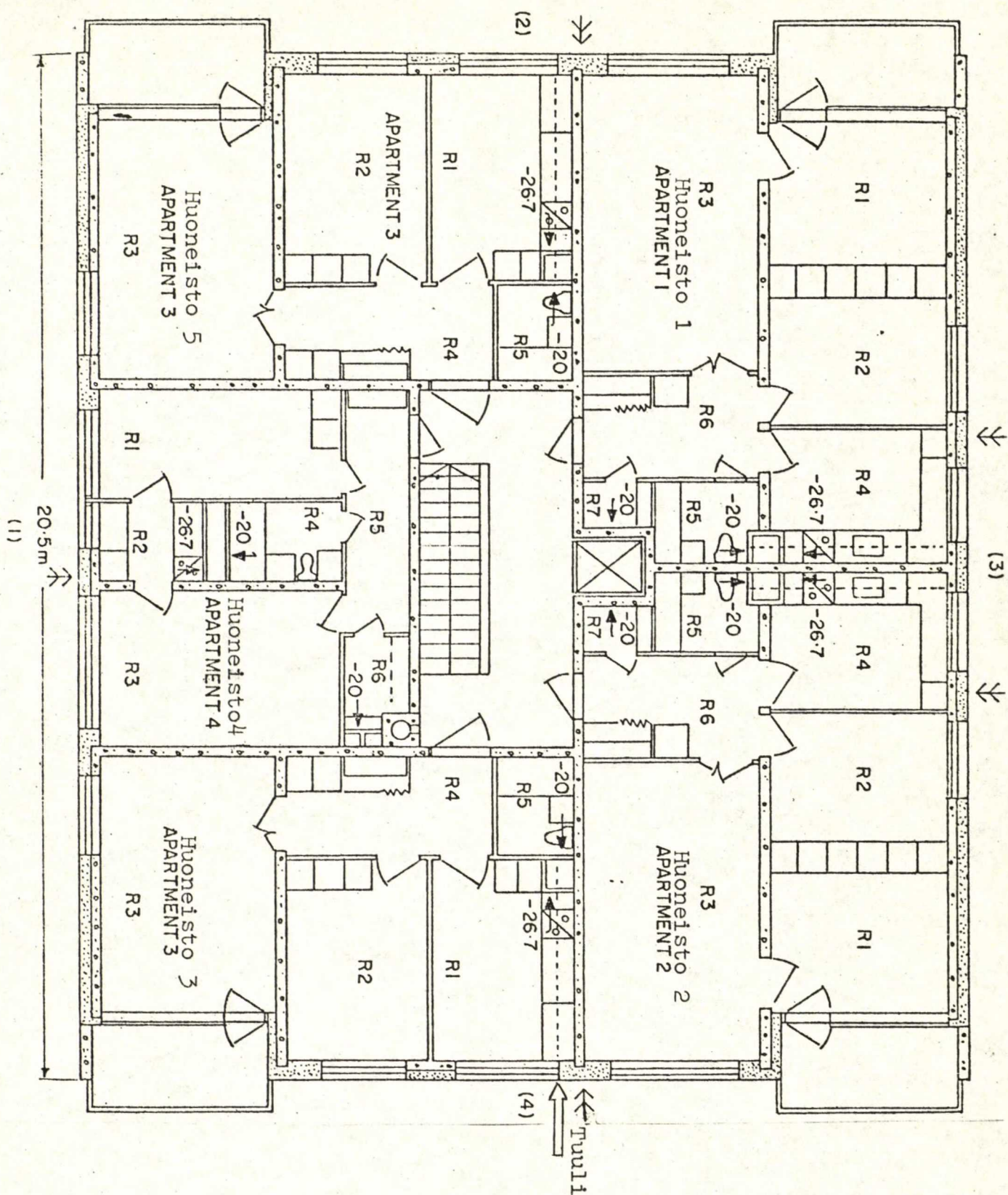
## ESIMERKKI HUONEISTON KOKONAISLÄMMÖNTARPEESTA

Esimerkissä /19/ on laskettu yhdeksänkerroksisen asuinrakennuksen kahden huoneiston kokonaislämmöntarve ja vuotoilman lämmitystarve kerroksittain. Kuvassa 1 on esitetty rakennuksen pohjapiirustus. Rakennuksessa on koneellinen poistotuuletus ja ilmanvaihtoilma otetaan ikkuna- ja ovirakojen kautta. Rakojen vuoto-ominaisuudet ovat samat mitä käytetään lämmitystarpeen laskentaohjeissa RIL 62. Poistoelimen painehäviöksi on otettu  $100 \text{ N/m}^2$  nimellisilmavirralla, Pystykanavan painehäviöksi on otettu  $20 \text{ N/m}^2$  ja katolla olevan kokoojakanavan  $35 \text{ N/m}^2$ . Ulkoilman mitoituslämpötila on  $-27^\circ\text{C}$  ja sisäilman vastaavasti  $+18^\circ\text{C}$ . Laskelmat on suoritettu olettamalla poistopuhaltimen käyvän puolella kierrosluvulla, missä tapauksessa ilmavirrat ovat n. 60% nimellisvirroista. Rakennuksessa on laskentaohjeen /5/ tapauksen (a) mukainen savupiippuvaikutuksen aiheuttama painejakautuma. Tapauksessa missä tuuli on otettu mukaan, selviää käytetty tuulen dynaamisen paineen aiheuttama painejakautuma kuvasta 2. Rakennuksen pystyleikkaus on myös esitetty kuvassa 2. Taulukossa 1 on esitetty kahden huoneiston kokonaislämmöntarpeet ja vuotoilman lämmitystarve kerroksittain kahdessa tapauksessa:

- kun on tyyni
- kuvassa 2 esitetty tuulen painejakautuma

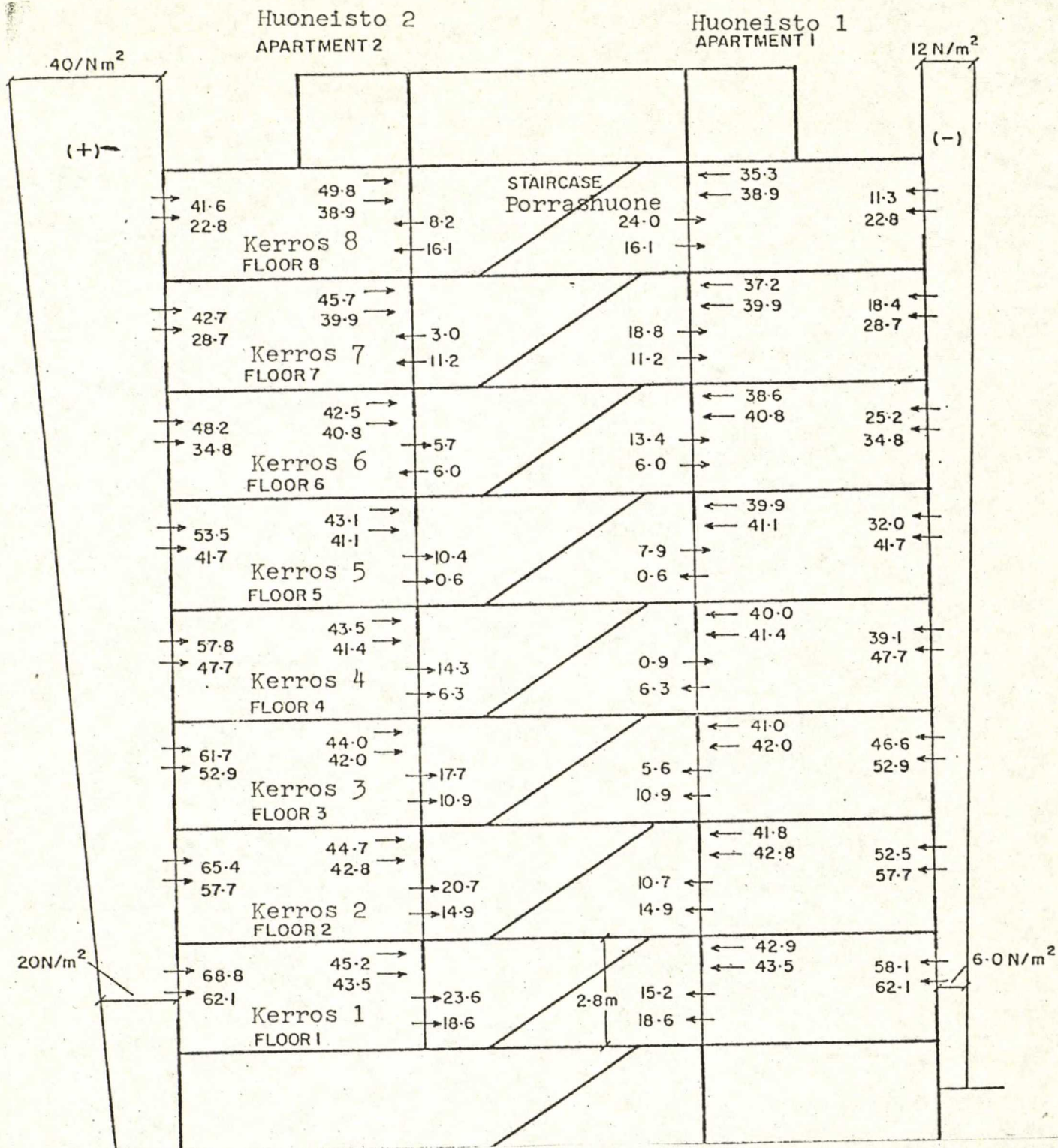
Kuvaan 2 on myös merkitty molempien tapauksen ilmanvaihtoilman massavirrat.





Kuva 1. Rakennuksen pohjapiirustus. Poistoilmavirrat on esitetty yksikössä  $10^{-3} \text{ kg/s}$ .





Kuva 2. Rakennuksen pystyleikkaus, tuulen painejakautuma ja ilman massavirrat yksikössä  $10^{-3} \text{ kg/s}$ . Ylempi numero esittää tapausta, jossa tuuli vaikuttaa ja alempi tyyntä tilannetta.



Tuloksista havaitaan, että vuotoilman lämmitystarve vaihtelee huomattavasti. Tuulen vaikuttaessa kasvaa ylimmän kerroksen ilmanvaihdon lämmitystarve 83%, kasvattaen huoneiston kokonaislämmitystarvetta 20%. Suojan puolella ilmanvaihdon lämmitystarve vähenee 50% ja huoneiston kokonaislämmitystarve 12%. Huoneistossa 1 ja 2 on ilmanvaihdon lämmitystarpeen suhde kokonaislämmöntarpeeseen tyynellä ensimmäisessä kerroksessa 0,51 ja seitsemännessä 0,32. Tuulen vaikuttaessa huoneistossa 1 on vastaava suhde 1. kerroksessa 0,49 ja 7. kerroksessa 0,24. Huoneistossa 2 on tuulen vaikuttaessa vastaavat suhteet 0,54 ja 0,42.

Edellä oleva tarkastelu koski yksityisen huoneiston tarkastelua. Taulukossa 2 on esitetty tuulen vaikutus koko rakennuksen lämmöntarpeeseen. Siitä havaitaan, että koko rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntarve kasvoi tuulella 5% ja kokonaislämmöntarve vain 2%. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että huoneistot eivät ulotu vaakatasossa koko rakennuksen läpi.

Taulukko 1. Huoneistojen 1 ja 2 ilmanvaihdon lämmöntarve (infiltration heat loss) ja kokonaislämpöhäviöt (total heat loss) kerroksittain.

| Huoneisto<br>Apartment | Kerros<br>Floor | Ei tuulta<br>No wind           |                         | Tuuli<br>Wind <sup>c</sup>     |                       |                         |                       |
|------------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
|                        |                 | Infiltration<br>heat loss<br>W | Total<br>heat loss<br>W | Infiltration<br>heat loss<br>W | Change<br>muutos<br>% | Total<br>heat loss<br>W | Change<br>muutos<br>% |
| 1                      | 1               | 2588                           | 5076                    | 2424                           | -6.3                  | 4912                    | -3.2                  |
| 1                      | 2               | 2404                           | 4892                    | 2189                           | -9.0                  | 4675                    | -4.4                  |
| 1                      | 3               | 2205                           | 4693                    | 1942                           | -12.0                 | 4428                    | -5.7                  |
| 1                      | 4               | 1989                           | 4477                    | 1630                           | -18.1                 | 4116                    | -8.1                  |
| 1                      | 5               | 1790                           | 4224                    | 1334                           | -25.5                 | 3820                    | -9.6                  |
| 1                      | 6               | 1449                           | 3936                    | 1050                           | -27.5                 | 3536                    | -10.2                 |
| 1                      | 7               | 1197                           | 3684                    | 766                            | -36.0                 | 3252                    | -11.7                 |
| 1                      | 8               | 966                            | 4488                    | 489                            | -49.4                 | 3959                    | -11.8                 |
| 2                      | 1               | 2588                           | 5076                    | 2885                           | +11.5                 | 5373                    | +5.9                  |
| 2                      | 2               | 2404                           | 4892                    | 2744                           | +14.1                 | 5230                    | +6.9                  |
| 2                      | 3               | 2205                           | 4693                    | 2594                           | +17.6                 | 5080                    | +8.2                  |
| 2                      | 4               | 1989                           | 4477                    | 2433                           | +22.3                 | 4919                    | +9.8                  |
| 2                      | 5               | 1790                           | 4224                    | 2255                           | +16.0                 | 4741                    | +12.2                 |
| 2                      | 6               | 1449                           | 3936                    | 2040                           | +40.8                 | 4526                    | +15.0                 |
| 2                      | 7               | 1197                           | 3684                    | 1822                           | +52.2                 | 4308                    | +16.9                 |
| 2                      | 8               | 966                            | 4030                    | 1768                           | +83.0                 | 4843                    | +20.2                 |



Taulukko 2. Koko rakennuksen tarkastelu  
(C = ei tuulta, D = tuulee).

| Wind           | Infiltration<br>heat loss<br>W | Change<br>% | Total<br>heat loss<br>W | Change<br>% |
|----------------|--------------------------------|-------------|-------------------------|-------------|
| 1 <sup>c</sup> | 67793                          |             | 165348                  |             |
| 4 <sup>d</sup> | 71166                          | +5.0        | 168640                  | +2.0        |

Porraskäytävän ja huoneistojen välinen ilmansiirtyminen on mielenkiintoinen. Alemmissa kerroksissa ilmavirran suunta on huoneistosta porrashuoneeseen päin ja ylemmissä päinvastoin. Täten selittyy esim. keittiökäryjen kulkeutuminen ylimpiin kerroksiin. Tässä esimerkkitapauksessa huoneistossa 1 ylimmässä kerroksessa, joka on suojan puolella tuulen vallitessa, huoneistoon tulevasta raitisilmamäärästä kulkee porrashuoneen oven kautta jopa 68%.

KORKEIDEN RAKENNUSTEN PALOTURVALLISUUTTA  
KÄSITTELEVIÄ ARTIKKELEJA

1. Arve E, Höghusens brandskyddsproblem.  
VVS 27 (1956) 8, s. 174...177.
2. Anvisningar angående utrymningsvägar i höga bostadshus. VVS 31 (1960) 1, s. 20...21.
3. Simmonds A. G. & Phillips C. W., Fire hazards in buildings and air-handling systems. ASHRAE Journal 1968 nr. 9, s. 51...61, 8 ref.
4. Hutcheon N. B., Fire protection in air system installations. HPAC 40 (1968) 12, s. 102...106, 9 ref.
5. Lindqvist B-G., Teorettinen tutkimus savukaasujen levittämisestä ilmanvaihtohormeissa. LVI 21 (1969) 5, s. 6...13.
6. Erfarenheter från höghusbranden. Brandförsvär 1969 nr. 10.
7. Daniels K., Brandventilation für innenliegende Treppenraume in Wohnhochhäusern. Bauwelt 1970 Heft 7, s. 257...259.
8. Tamura G. T. & Mac Guire J. H. & Wilson A. G., Air handling systems for control of smoke movement. ASHRAE Journal 1970 nr. 11, s. 37...43, 9 ref.



9. Semple J. B., Smoke control in high rise buildings. ASHRAE Journal 1971 nr. 4, s. 27...32.
10. Degenkolb J. G., Smoke proof enclosures. ASHRAE Journal 1971 nr. 4, s. 33...38.
11. Patton R.M., Fire safety for the high-rise buildings. ASHRAE Journal 1971 nr. 4, s. 39...41.
12. Ayres J. M., Fire safety, base economics dictate office ac-design. HPAC 43 (1971) 9, s. 73...78, 5 ref.
13. Nutter A., Notes on the high-rise fire protection seminar. Building Systems Design 1972 nr 1, s. 29...31.
14. Innamorati A. W., A total fire safety systems. ASHRAE Journal 1972 nr. 4, s. 34...36.
15. Tamura G. T., Computer analysis of smoke control with building air handling systems. ASHRAE Journal 1972 nr. 8, s. 46...54, 5 ref.
16. Altman H., Brandrökspridning i höghus VVS 44 (1973) 3, s. 37...41, 6 ref.
17. Shavit G., Smoke control for high rise life safety. HPAC 46 (1974) 6, s. 43...48, 43 ref.
18. Gruppe D. C., Life safety concepts for today's high rises. HPAC 47 (1975) 11, s. 43...47.

